

L'OXYGENE DISSOUS EN LAGUNE EBRIE: INFLUENCES DE L'HYDROCLIMAT ET DES POLLUTIONS

par

Ph. DUFOUR* et M. SLEPOUKHA*

R E S U M E

L'hydrologie de la lagune Ebrié dans la région d'Abidjan est rappelée.

Les auteurs décrivent ensuite l'état de l'oxygénation de cette région aux deux périodes extrêmes du cycle hydrologique: en saison d'étiage (mars-avril) et en saison de crue (septembre-octobre). Le rôle des eaux continentales et océaniques, de la photosynthèse, des échanges avec l'atmosphère et des pollutions est examiné. La demande par la pollution organique primaire représente de 9 à 12% du contenu en oxygène des eaux qui circulent dans la région. Le bassin central, soumis à de forts courants d'eau douce et de marée saline présente une oxygénation satisfaisante toute l'année. Dans les baies périphériques le brassage et la circulation des eaux sont moindres et la pollution accélère l'eutrophisation naturelle. En saison d'étiage la stratification verticale y favorise l'apparition d'une couche désoxygénée en profondeur, et le dépôt de vases organiques réductrices. En surface par contre, des sursaturations jusqu'à 200% y sont notées. En saison de crue la disparition de la stratification y permet la mise en suspension des vases réductrices meubles et la réoxygénation partielle des eaux du fond.

Une classification des eaux de la région, basée sur les profils verticaux de l'oxygène est proposée.

A B S T R A C T

The hydrology of the Ebrié Coastal lagoon in Abidjan area is summarized.

Then the authors describe the oxygenation in that area during the two extreme seasons of the hydrological cycle: the low-water season (march-april) and the high-water season (september-october). The influences of the continental and oceanic waters, photosynthesis, exchanges

.../...

* Océanographes de l'ORSTOM - C.R.O. BP V 18 - ABIDJAN - (Côte d'Ivoire)

with the atmosphere and pollutions are considered. The oxygen consumption by primary organic pollution represents from 9 to 12 per cent of the content of the waters that circulates in the area. It is geographically very heterogeneous. The central basin, swept by strong marine and fresh water currents, shows a rather high level of water oxygenation. In the peripheric bays, water circulation and mixing are less important and pollution accelerates the natural eutrophic processes. During the low-water season, a vertical stratification is responsible for a bottom anoxic layer and the deposit of reduced organic silts. On the contrary, supersaturations, up to 200 per cent, are recorded on the surface layer. During the high-water season the break of the vertical stratification sets the loose reduced silts into suspension and partly reoxygenates the bottom waters.

A classification of the different areas, based on the oxygen vertical profiles is proposed.

1.- INTRODUCTION

L'eau n'est pas un milieu inerte: "elle est dans la nature un milieu vivant, porteur d'organismes bienfaisants qui contribuent à en maintenir la qualité. En la polluant, on risque de détruire les organismes, de bouleverser ainsi le processus d'autoépuration et, éventuellement, de modifier de façon défavorable et irréversible le milieu vivant" (Anonyme, 1967). Pour rester un milieu vivant, l'eau doit contenir de l'oxygène dissous en quantité suffisante. Cet oxygène est produit dans la couche de surface par échange avec l'atmosphère d'une part, par les végétaux au cours des processus de photosynthèse d'autre part. Il est consommé sur toute la colonne d'eau par la respiration des organismes aérobies et par les oxydations qui transforment cadavres et déchets organiques en matières minérales. A ces sources de variations ponctuelles se superposent les échanges latéraux et verticaux entre masses d'eau de caractéristiques différentes, c'est-à-dire pour les lagunes entre eaux fluviales, météoriques et marines. Dans la région d'Abidjan, les eaux "usées" par l'activité humaine sont une source de perturbation supplémentaire du bilan en oxygène.

L'agglomération d'Abidjan regroupe actuellement 800.000 habitants. Elle est aussi une zone industrielle. La plupart des eaux usées domestiques ou industrielles sont rejetées dans la lagune sans traitement préalable. Les débits des principaux collecteurs d'eaux usées domestiques par temps secs étaient estimés à 643 l/s en 1972. Ceux des collecteurs d'eaux usées d'origine industrielle étaient estimés être de 580 l/s à la même époque (Anonyme, 1972a). A ces débits viennent s'ajouter ceux de nombreux petits exutoires non recensés. Si on tient compte en outre d'une augmentation annuelle des rejets de 10 à 15% proportionnelle à l'accroissement de la population et de l'activité industrielle, ce sont environ $1,5 \text{ m}^3$ d'eaux usées qui sont rejetées en lagune chaque seconde en 1974. Ce volume est loin d'être négligeable puisqu'il représente au bout d'un an 13,5% du volume du bassin lagunaire du grand Abidjan que nous estimons de 350.10^6 m^3 ,

2.- HYDROCLIMAT DE LA LAGUNE

La lagune Ebrié est constituée d'un bassin central de 125 kilomètres de long sur 0.4 à 7 km de large, orienté est-ouest et séparé de l'océan par un cordon littoral de 5 kilomètres environ. Autour de ce bassin s'organisent de nombreuses baies plus ou moins fermées et profondes (Fig.1).

Nous rendons compte ici de la situation de la lagune du "grand Abidjan" tel que défini par le plan directeur d'urbanisme de l'agglomération, soit entre $4^{\circ}08'W$ (baie d'Adiopodoumé) et $3^{\circ}55'W$ (île Désiré) (Fig.2). Cette région est occupée par le bassin central qui communique avec l'océan par le canal de Vridi au travers de la baie d'Abidjan, et autour duquel s'organisent les baies d'Adiopodoumé, du Banco, de Cocody, de Marcory, de Koumassi et de Biétri. A l'exception de la zone d'influence du port (baie d'Abidjan et régions limitrophes) et d'une fosse à l'entrée de la baie de Koumassi, la profondeur n'excède pas 8 m.

Les eaux ont une origine à la fois océanique et continentale. La circulation, l'alternance et le mélange de ces eaux influencent évidemment les teneurs en oxygène. Les eaux salées d'origine océanique pénètrent dans la région par le canal de Vridi. Leur entrée est soumise aux rythmes biquo-

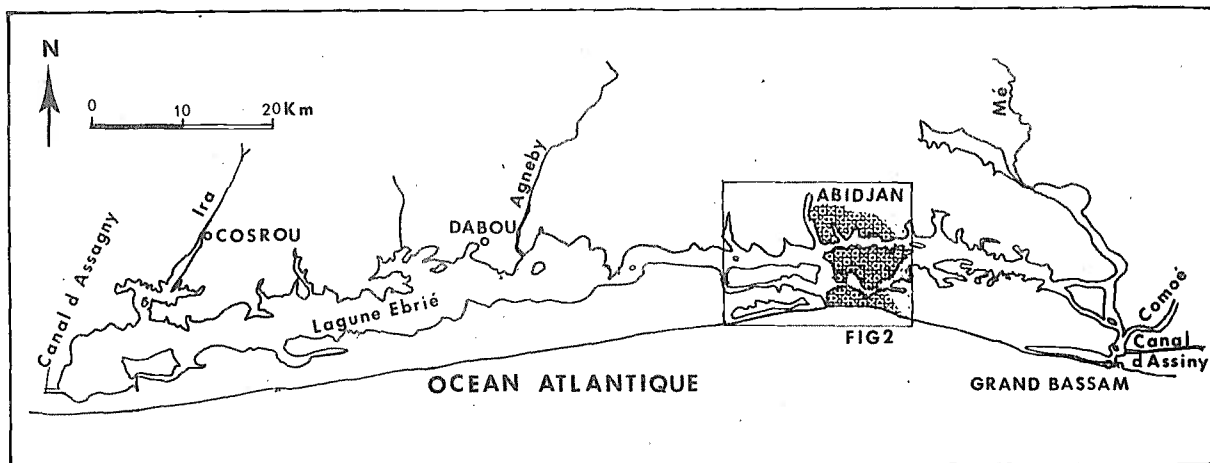


Fig. 1 : LA LAGUNE EBRIE

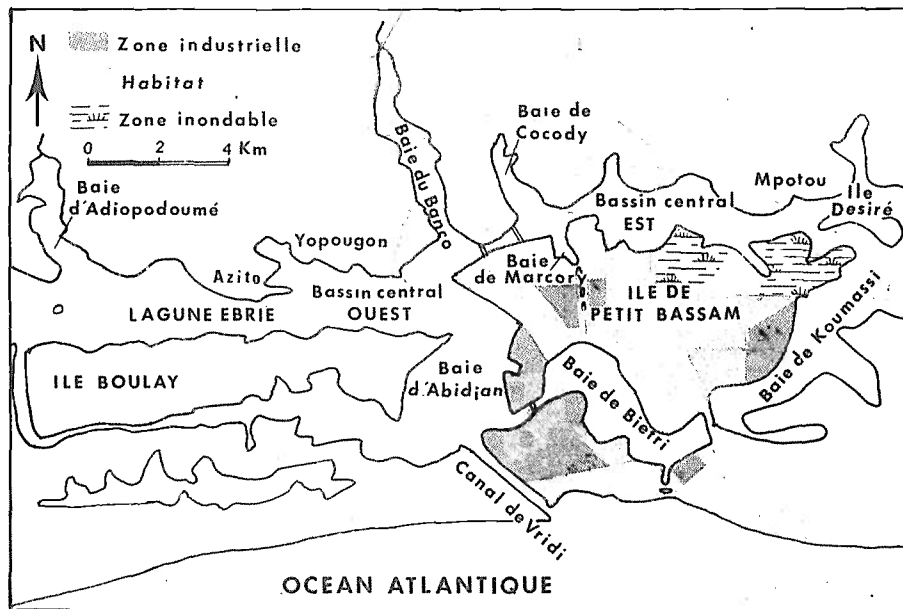


Fig. 2 : LA REGION D'ABIDJAN

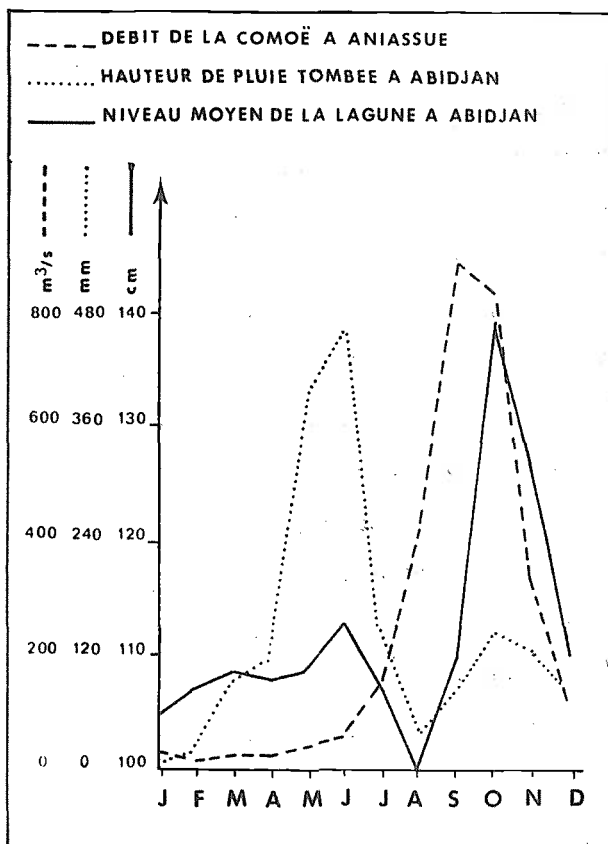


Fig. 3 : RELATIONS DU NIVEAU MOYEN DE LA LAGUNE A ABIDJAN AVEC LES DEBITS DE LA COMOË ET LES PRECIPITATIONS LOCALES
d'après Varle (non publié)

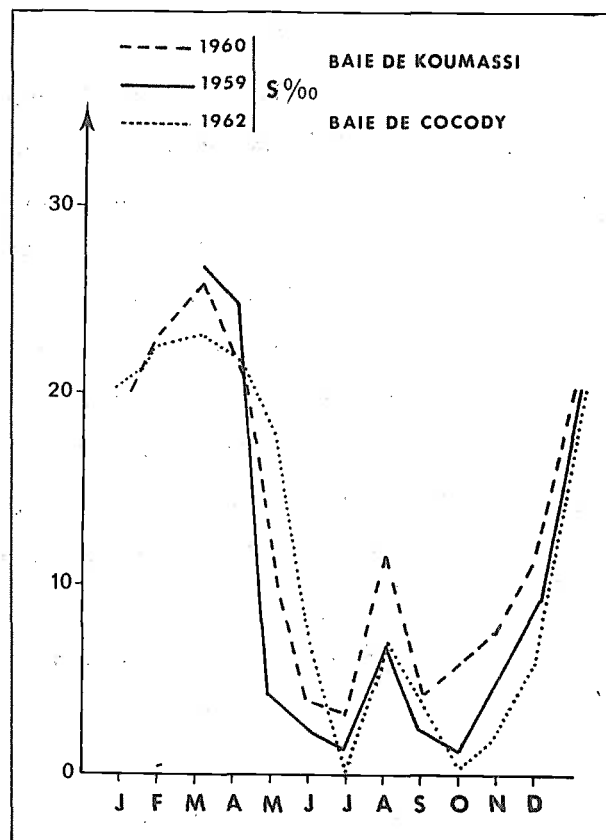


Fig. 4: VARIATIONS MENSUELLES DE LA SALINITE DANS LA REGION D'ABIDJAN
d'après Varlet (non publié).
Daget et Durant (1968)

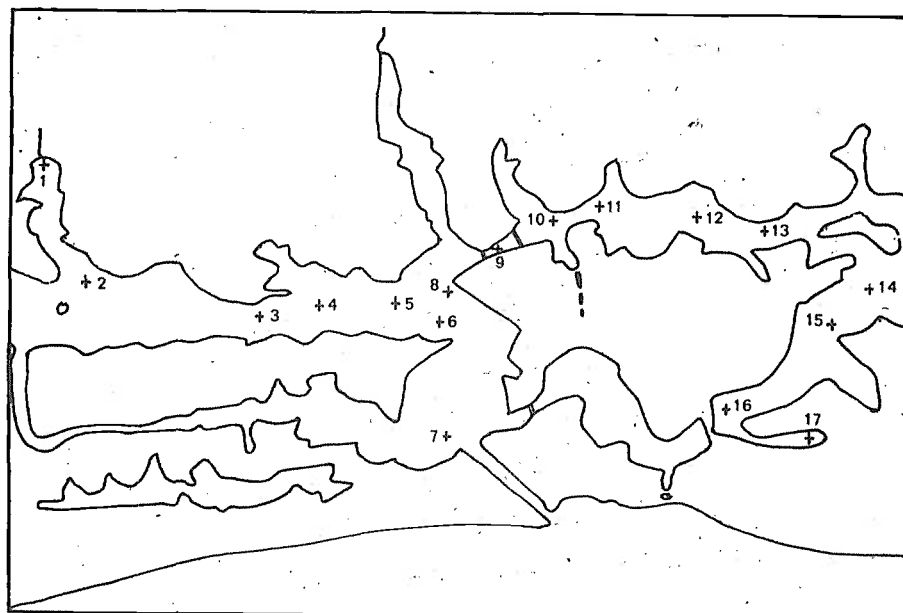


Fig 5: POSITIONS DES STATIONS DES FIGURES 6, 7 ET 17.

tidien, bimensuels, et annuels des marées et de leur amplitude, et est contrariée par la présence d'eau douce dont le volume subit des variations annuelles. Les eaux douces ont une origine atmosphérique et continentale. Le fleuve Comoé a une influence prépondérante sur leur volume à Abidjan (Fig.3). C'est pendant l'étiage de la Comoé de janvier à avril que l'influence des eaux océaniques est maximum. Elle est minimum pendant la période des pluies locales de mai à juillet et durant les crues de la Comoé en septembre et octobre (Fig.4). Nos mesures ont été faites au cours des conditions extrêmes de mars-avril 1974 et septembre-octobre 1974. Géographiquement, la proportion des eaux salées et douces est liée à la proximité de la source d'eau océanique: le canal de Vridi, et de la principale source d'eau douce: la Comoé, ainsi qu'à la circulation de ces eaux.

Les conditions aux deux saisons opposées peuvent se résumer comme suit:

- En mars-avril, saison d'étiage de la Comoé, toute la région est baignée par des eaux de salinité supérieure à 10‰ et présente alors un faciès d'estuaire (Fig. 5, 6a et 7a). La stratification verticale est accentuée dans la baie d'Abidjan et le bassin central. Vers l'amont, la progression des eaux profondes les plus salées est entravée par l'élévation du niveau du fond, tandis que les eaux superficielles se diluent peu à peu dans la masse des eaux plus douces déjà en place. Une stratification verticale faible en salinité et en température subsiste néanmoins partout où la profondeur le permet.

- En septembre-octobre (Fig.5, 6b et 7b), les eaux de la Comoé en crue traversent le bassin central est, la baie d'Abidjan, débordent dans le bassin central ouest et aboutissent en mer par le canal de Vridi. Ce courant d'eau douce dilue les eaux océaniques et en contrarie la pénétration. La couche d'eau très salée ne subsiste plus que sur quelques mètres d'épaisseur dans la baie d'Abidjan et la partie la plus profonde du bassin central qui seuls alors présentent un faciès d'estuaire. Elle est séparée des eaux pratiquement douces sus-jacentes par une discontinuité extrêmement marquée à la fois en salinité et en température, les eaux océaniques étant à l'époque plus froides de 6 à 8°C que les eaux continentales. Au-delà de Yopougon à l'ouest et de Marcory à l'est

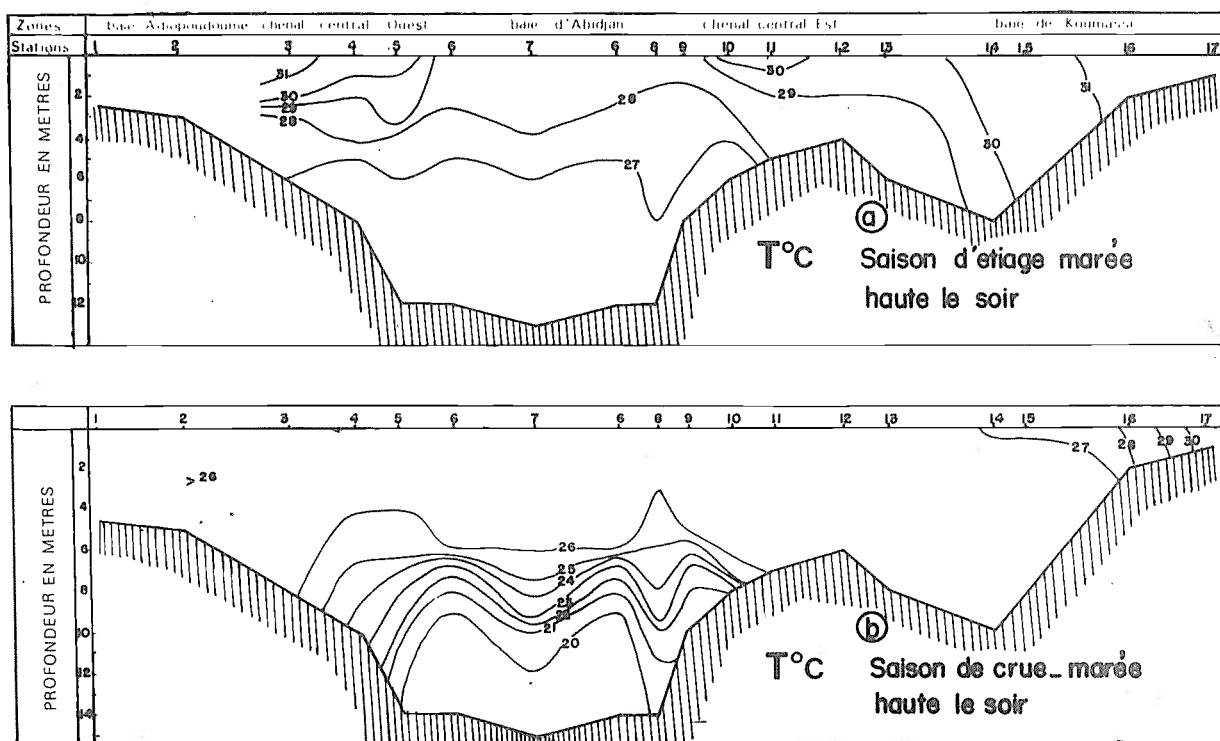


Fig.6 : COUPES DE LA TEMPERATURE DE LA BAIE D'ADIOPODOUME A LA BAIE DE KOUMASSI. (Positions des stations : Fig.5)

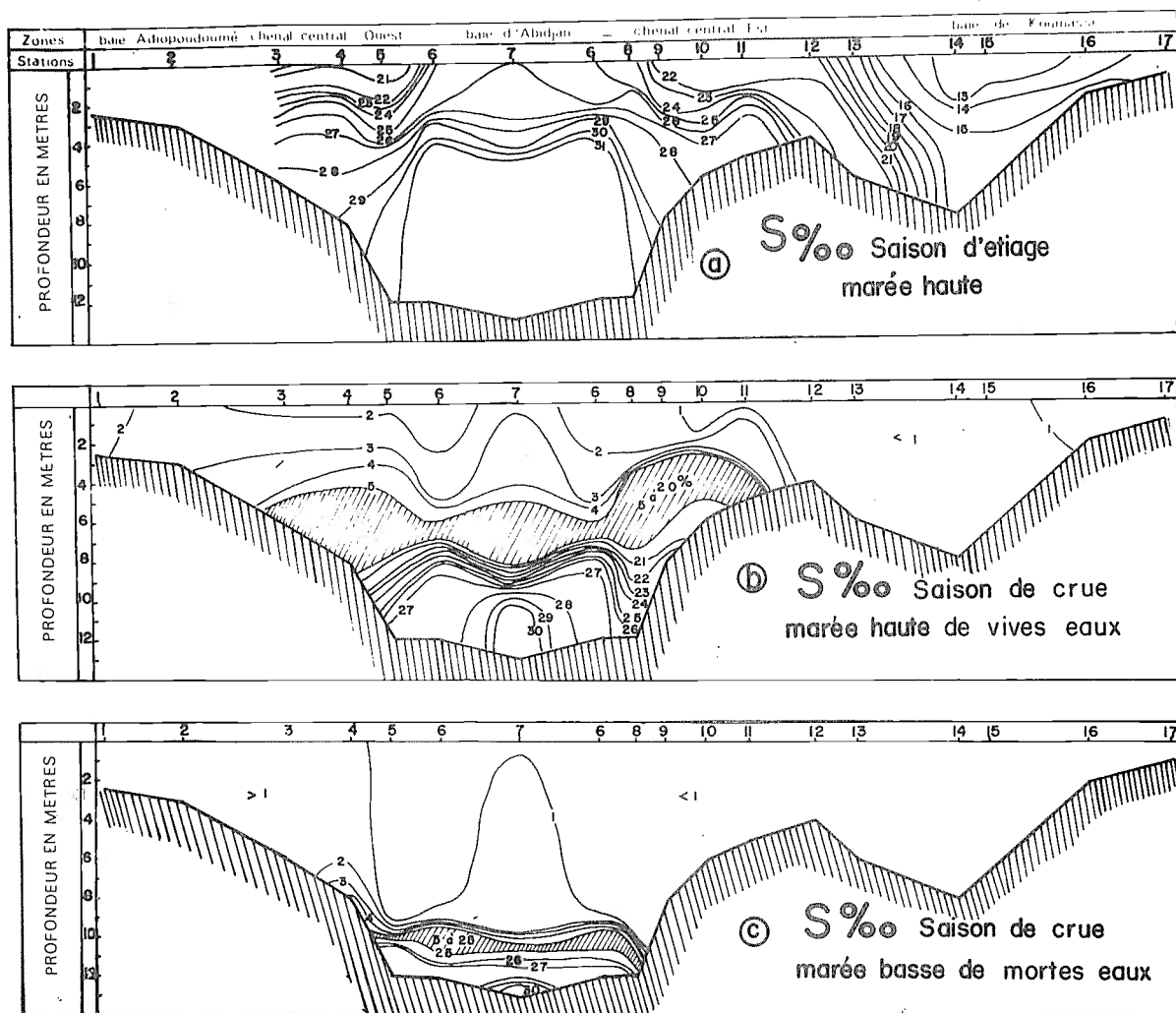


Fig 7: SALINITES DE LA BAIE D'ADIOPODOUME A LA BAIE DE KOUMASSI.
(Positions des stations: Fig.5)

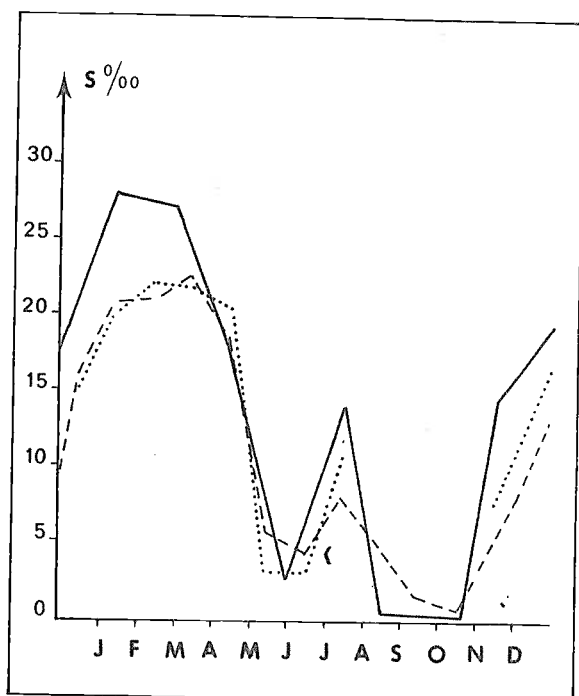


Fig. 8: SALINITES MENSUELLES DE SURFACE EN 1951 EN BAIE D'ABIDJAN (—), A L'ENTREE (.....) ET AU FOND (— — —) DE LA BAIE DE KOUMASSI (D'après Varlet non publié)

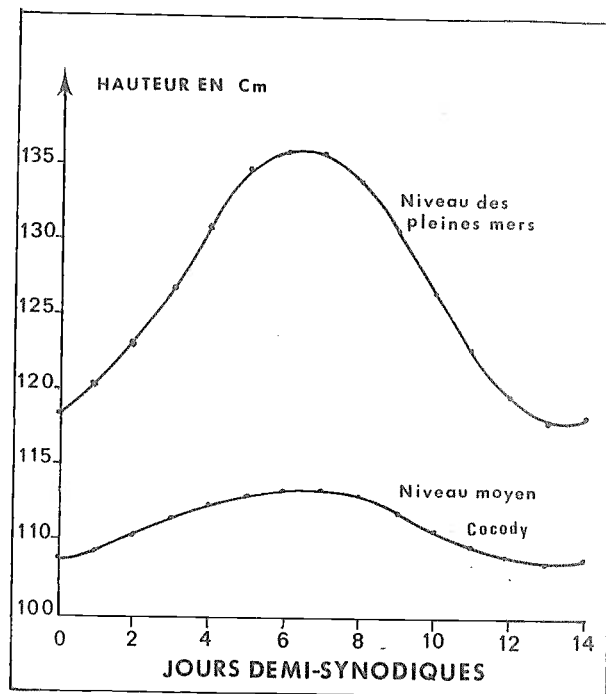


Fig. 9 VARIATIONS CORRESPONDANTES DE LA HAUTEUR MOYENNE DES PLEINES MER ET DU NIVEAU MOYEN EN BAIE DE COCODY PENDANT UNE DEMI LUNAISON MOYENNE DE 7 DEMI-LUNAISON DE DEC. 1952 A AVRIL 1953. (D après Varlet non publié)

(st. 3 et 12), les eaux sont homogènes de la surface au fond, légèrement plus salées à l'ouest qu'à l'est où elles sont directement influencées par le flux d'eau de la Comoé.

A l'intérieur d'une même saison, les variations hydrologiques dues aux marées et aux variations de leur amplitude sont moins importantes. Ainsi, les figures 7b et 7c illustrent respectivement l'extension maximale et minimale des eaux océaniques au mois d'octobre 1974, donc en saison de crue. L'extension maximale des eaux salées ($>5\text{‰}$) à marée haute de vives eaux, n'y excède pas de plus de 5 km leur extension minimale à marée basse

de mortes eaux, et ceci à l'ouest comme à l'est du canal de Vridi.

Les caractéristiques de l'eau des baies suivent celles du bassin central avec une certaine inertie, due à une entrave à la circulation des eaux, d'autant plus importante que ces baies sont fermées et souvent obstruées par un seuil élevé. Les baies participent aux variations annuelles de la salinité et donc au renouvellement annuel des eaux, mais avec retard et amortissement (Fig. 8). Le réchauffement diurne y favorise l'évaporation et l'élévation de la salinité: extrémité des baies de Koumassi et de Biétri. Au contraire, l'arrivée de cours d'eau peut y abaisser localement la salinité: extrémité des baies du Banco, de Cocody et d'Adiopodoumé (Fig. 10, 7a et 7b). L'influence quotidienne des marées s'y fait d'autant moins sentir qu'elles sont éloignées du canal de Vridi (Fig. 9). La stratification verticale y est faible en saison d'étiage, diminuant vers l'amont (Fig. 6a et 7a). Elle y est nulle en saison de crue de la Comoé sauf au sud de la baie du Banco, zone portuaire profonde influencée par les apports d'eau de mer au travers de la baie d'Abidjan.

3.- LES ELEMENTS DU BILAN D'OXYGENE

Dans ce chapitre, les différents facteurs susceptibles d'influencer la teneur en oxygène sont examinés. Nos données ne nous permettent pas d'évaluer quantitativement leurs rôles respectifs, variables selon l'époque et le lieu. Mais nous utiliserons ces éléments pour expliquer qualitativement les particularités des distributions en oxygène exposées au chapitre suivant.

3.1.- ROLE DES EAUX DE MER.

Le volume des eaux de mer pénétrant en lagune au travers du canal de Vridi a été estimé être de $28.1.10^6 \text{ m}^3$ pendant un cycle de marée moyenne en juin 1966 (TASTET, 1974). Ce sont donc en première approximation 10^{10} m^3 d'eau de mer qui passent chaque année le canal de Vridi, représentant 29 fois le volume de la lagune dans la région. La teneur de ces eaux en oxygène influence donc directement celle des zones dans lesquelles elles pénètrent.

En mars-avril au cours de la grande saison chaude marine, les eaux qui pénètrent en lagune sont saturées en oxygène (VERSTRAETE, 1970 et données non publiées du CRO). Elles sont donc à priori un facteur d'oxygénation.

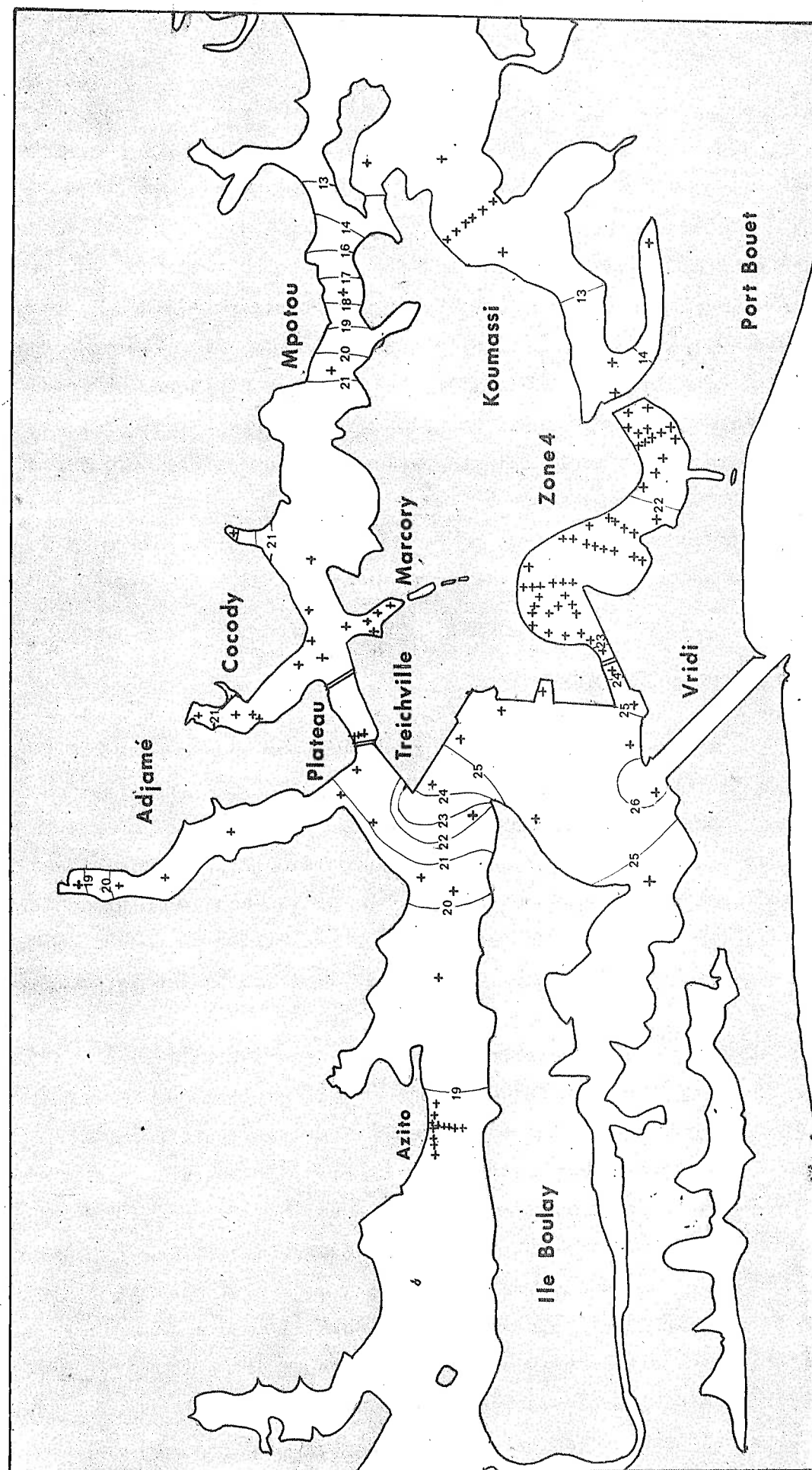


Fig. 10 ISOHALINES DE SURFACE EN SAISON D'ETIAGE (mars.1974) (+ MAREE HAUTE (+ point de mesure))

En septembre-octobre, alors que s'achève la grande saison froide, les eaux de mer susceptibles de traverser le canal de Vridi sont plus hétérogènes (ANONYME, 1969; VERSTRAETE, 1970; données non publiées du CRO): lorsque l'upwelling côtier fréquent en cette saison (MORLIERE, 1970) est bien établi, des eaux profondes à faibles teneurs en oxygène remontent en surface et passent le canal; au contraire, lorsque l'upwelling s'atténue, les eaux de surface qui pénètrent en lagune sont sursaturées par une production photosynthétique intense (DANDONNEAU, 1973). Notre étude nous a amené sept fois au débouché amont du canal de Vridi en septembre et octobre. Nous n'y avons constaté qu'une seule fois la présence d'eaux salées sursaturées et cinq fois nettement sous-saturées (moins de 60%). L'entrée d'eau de mer ne peut donc être considérée comme un facteur direct d'enrichissement en oxygène pour la lagune en saison froide marine (juillet à octobre).

3.2. - ROLE DES EAUX DOUCES

Considérable également est le volume des eaux douces qui arrivent en lagune. TASTET (1974) l'estime entre 6.10^9 et 12.10^9 m³ par an dont 2 à 5% seulement partent par évaporation. Tout le reste est évacué par le canal de Vridi et transite donc à travers la région étudiée. Ce volume d'eau douce représente de 17 à 34 fois celui des eaux du bassin du grand Abidjan et de 125 à 250 fois celui des eaux usées de la ville. On conçoit donc l'effet d'une telle circulation dans la dilution des effluents polluants de la ville.

Les eaux des précipitations locales sont probablement saturées en oxygène. Nous ne disposons pas de données sur l'oxygénation des eaux de la Comoé principale source d'eau douce (6.10^9 m³ en 1972). En revanche, nous avons noté une corrélation positive en octobre 1974 entre la salinité et la teneur en oxygène des eaux de surface à l'embouchure du canal d'Assagny et de la baie de Cosrou à l'ouest du bassin central (Fig.11). Les eaux du fleuve Bandama et de la rivière Ira seraient donc plus pauvres en oxygène que les eaux de la lagune à cette époque. Mais il conviendrait de mesurer l'oxygénation des différentes sources d'eau douce de la lagune en différentes périodes de l'année pour avoir une idée plus précise du rôle direct de ces eaux sur le bilan en oxygène de la lagune.

A côté de leur rôle direct, ces eaux ont un rôle indirect sur l'oxygénation par les substances organiques et minérales qu'elles contiennent. Les effets positifs de ces substances sont de stimuler la photosynthèse productrice d'oxygène. Leurs effets négatifs sont une consommation d'oxygène par les oxydations des matières organiques et une turbidité accrue des eaux réduisant la photosynthèse. Accessoirement les eaux douces en diminuant la salinité augmentent le pouvoir de réaération à partir de l'atmosphère.

3.3.- RÔLE DE LA PHOTOSYNTHESE

La quantité d'oxygène libérée par la photosynthèse pendant un temps donné est proportionnelle à la quantité de matière végétale synthétisée. Cette synthèse nécessite la présence simultanée de sels minéraux et de lumière et l'absence d'inhibiteurs.

Des sels minéraux sont amenés en grande quantité par les rivières et les pluies locales donc en période de crue lagunaire (juin et septembre-octobre), et par l'océan en saison marine froide donc en janvier et surtout de juillet à septembre. Il en résulte des concentrations élevées en sels nutritifs en lagune de juin à janvier (Fig.12). De février à mai, les concentrations sont faibles et pourraient alors devenir limitantes, ce qui reste à prouver. Les effluents urbains auraient alors une influence stimulante sur la photosynthèse dans la région d'Abidjan.

La production photosynthétique d'oxygène est aussi dépendante de la lumière dont la pénétration est contrariée par la turbidité des eaux. On admet qu'elle équilibre les besoins respiratoires des végétaux à la profondeur où ne pénètre plus que 1% de la lumière incidente (profondeur "de compensation"). Plus bas, la consommation d'oxygène par les plantes excède leur production. La profondeur de compensation suit un cycle annuel en lagune: elle est maximum de décembre à mai où elle ne dépasse cependant pas 5 mètres et minimum de juin à novembre en saison de crue où elle est d'environ 2,5 m (Fig.13). Nous avons personnellement enregistré des profondeurs de compensation de 50 cm en octobre 1974 dans les eaux totalement dessalées du bassin central. Une telle turbidité limite donc la production d'oxygène photosynthétique. On peut prévoir que cette production est minimum dans les eaux dessalées de saison de crue, très riches en substances terrigènes arrachées

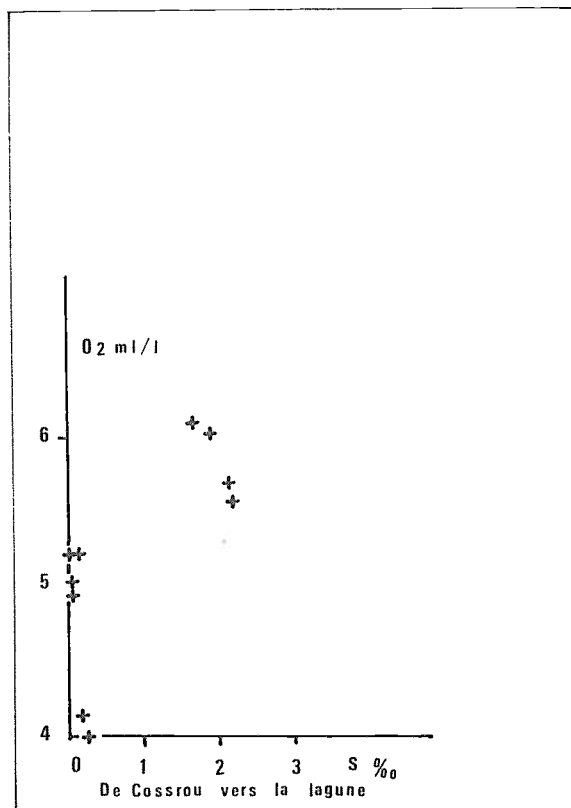
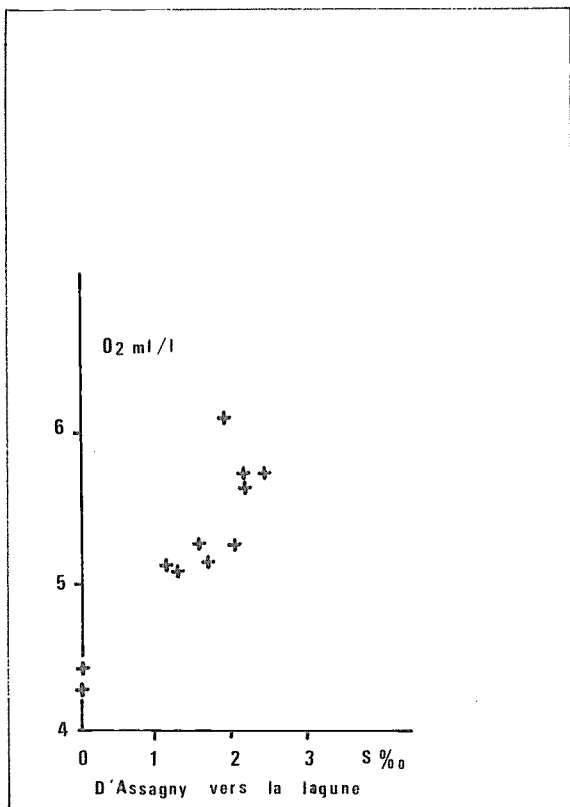


Fig.11 . INFLUENCE DIRECTE DES EAUX CONTINENTALES SUR L OXYGENATION DE LA LAGUNE

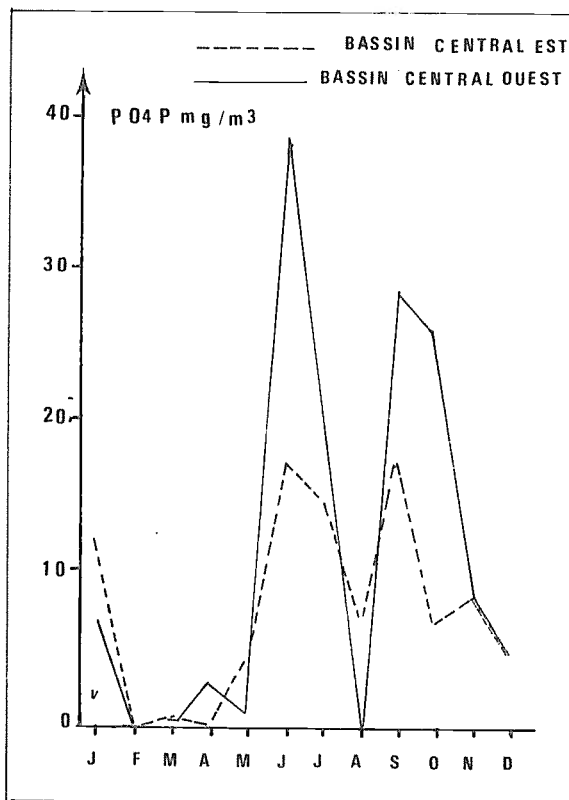


Fig.12 : VARIATIONS MENSUELLES DE LA TENEUR EN PHOSPHATE MINERAL DISSOUS DES EAUX DE SURFACE EN 1954 (D'après Varlet non publié)

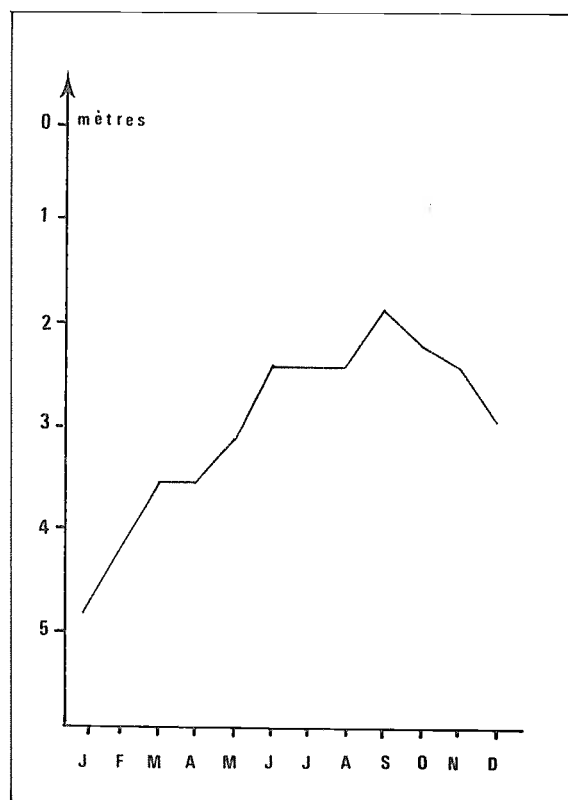


Fig.13 : VARIATIONS MENSUELLES DE LA PROFONDEUR DE COMPENSATION A ABIDJAN (d'après Rahm 1964)

au continent, et pour des eaux d'égale salinité, est plus faible dans le bassin central et la baie d'Abidjan où le brassage limite la sédimentation des matières en suspension.

Par ailleurs, la production d'oxygène photosynthétique suit un rythme nycthéral fonction de l'énergie solaire incidente. La respiration de la communauté vivante (végétale + animale) peut en première approximation être supposée constante. La superposition des processus de production d'oxygène photosynthétique et de consommation d'oxygène respiratoire conduit donc à des concentrations d'oxygène d'origine biologique minimales à la fin de la nuit et maximales au milieu de l'après-midi (Fig.14). L'amplitude de ces variations est d'autant plus accusée que la communauté vivante est importante. Une forte sursaturation l'après-midi peut donc conduire à une forte sous-saturation le matin, préjudiciable à l'activité biologique.

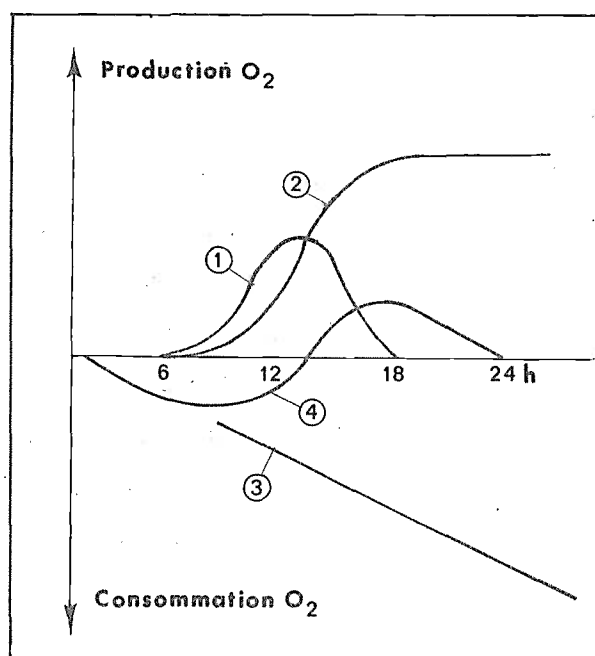


FIG 14 : BILAN NYCTHEMERAL NET THEORIQUE DE L'OXYGENE.

- ① : COURBE DES RADIATIONS SOLAIRES REÇUES.
- ② : COURBE DE PRODUCTION D'OXYGENE (Intégrale de ①).
- ③ : RESPIRATION DE LA COMMUNAUTE.
- ④ : PROFIL D'O₂ DISSOUS RESULTANT (Différence de ② et ③).

3.4.- RÔLE DES ÉCHANGES AVEC L'ATMOSPHERE

L'oxygène de l'atmosphère se dissout d'autant plus dans les eaux à son contact que leur déficit de saturation en oxygène est important, que leur température est plus basse, que leur turbulence est plus grande et qu'elles sont moins salées. On constate que ce mécanisme régulateur est contrarié au fond des baies par une température plus élevée et une turbulence plus faible que dans le reste de la lagune. Il est aussi contrarié par la présence d'un film d'hydrocarbure en surface souvent observé, en particulier dans les baies de Marcory, de Biétri et dans la baie d'Abidjan. La saturation des eaux de la lagune varie entre 4,61 ml/l dans les eaux de salinité 33‰ et de température 27°C et 5,67 ml/l dans les eaux douces à 26°C.

3.5.- RÔLE DE LA STRATIFICATION VERTICALE

Alors que l'oxygénation par échanges avec l'atmosphère et par photosynthèse intéresse la couche de surface, la désoxygénation par la respiration et par les oxydations affecte toute la colonne d'eau. Toute stratification verticale des eaux, témoigne d'échanges limités entre les eaux de surface et celles du fond, et donc d'une réoxygénation limitée des eaux du fond. On a vu paragraphe 2 qu'une telle stratification existe toute l'année dans la baie d'Abidjan et le bassin central proche. Dans cette zone la réoxygénation peut cependant se faire par circulation latérale. Ce qui n'est pas le cas des baies fermées où la stratification verticale de saison d'étiage favorise alors l'établissement de conditions anaérobies au fond.

3.6.- RÔLE DES POLLUTIONS

Dans un milieu pollué, l'équilibre en oxygène est perturbé par deux processus distincts selon le type de pollution.

1° - Il peut y avoir pollution chimique toxique. Dans ce cas il y a mortalité massive des organismes vivants et avec eux des végétaux, source

essentielle d'oxygénation. Les phénomènes d'oxydation des matières organiques ne s'en poursuivent pas moins, ce qui conduit à une désoxygénation plus ou moins accentuée des eaux polluées. A l'extrême, les processus aérobies sont remplacés par des processus anaérobies avec les conséquences que cela implique.

2° - Il peut y avoir pollution organique primaire par les eaux usées domestiques et certaines industries. Les matières organiques rejetées sont minéralisées dans le milieu récepteur auquel elles empruntent son oxygène. Les éléments nutritifs issus de cette minéralisation stimulent très fortement la production végétale. Il y a eutrophisation excessive. La biomasse végétale est considérablement accrue et en vient à dépasser les possibilités d'assimilation des herbivores. On aboutit alors à la pollution organique secondaire dont l'importance peut être plusieurs fois supérieure à celle de la pollution organique primaire (STIRN, 1971; M. et J. AUBERT, 1973; ANONYME, 1971). La matière organique ainsi produite en excès sédimente et sa minéralisation épuise l'oxygène au niveau du fond. Comme de plus la pénétration lumineuse est diminuée par le développement végétal en surface, l'oxygène devient très vite limitant et l'enrichissement du plan d'eau aboutit, passé un certain stade, à une autopollution difficile à enrayer. Là encore, les processus aérobies sont remplacés par des processus anaérobies. Des composés réducteurs toxiques tels que l'acide sulfhydrique, le méthane, l'ammoniaque, etc, se forment. Un tel type de situation est caractérisé par de fortes sursaturations en oxygène en surface et une anoxie au fond.

Aucune étude n'a encore été entreprise sur la pollution chimique en lagune Ebrié. On sait cependant que des hydrocarbures, des colorants issus des teintureries, des détergents synthétiques, de l'arsenic utilisé dans le traitement des cuirs, du cyanure de certains bains électrolytiques et des pesticides agricoles y sont déversés régulièrement ou accidentellement. Ces produits peuvent localement empoisonner la flore et donc réduire le taux d'oxygénation des eaux. Mais leur effet sur les teneurs en oxygène est probablement négligeable vis à vis de celui des pollutions organiques par la population et les industries de la place (brasseries, huilerie, savonnerie, industries alimentaires etc).

Faute d'une estimation mieux adaptée aux conditions locales nous adopterons la valeur préconisée par les agences de bassins en France, de 57 grammes d'oxygène prélevé au milieu récepteur pour dégrader les matières oxydables évacuées par un habitant en un jour. Nous estimons en outre qu'un tiers des déchets des 800.000 habitants de l'agglomération d'Abidjan n'aboutissent pas en lagune: évacuation par puits perdus ou autres modes. Ce sont donc en première approximation 31 tonnes d'oxygène qui sont prélevées chaque jour à la lagune par les effluents domestiques. Il faut y ajouter les prélèvements quotidiens par les déchets de l'industrie estimés à 11 tonnes (NOVO, 1974). La pollution organique primaire prélève donc 42 tonnes d'oxygène quotidiennement soit 15.330 tonnes annuellement. Or, dans le meilleur des cas (eau douce à 26°C), un mètre cube d'eau de lagune contient 8 grammes d'oxygène. Le volume du bassin lagunaire du grand Abidjan estimé rappelons-le à 35.10^8 m^3 , contiendrait donc 2.800 tonnes d'oxygène s'il était saturé. Par suite la demande annuelle par la pollution organique primaire représenterait 550% du contenu en oxygène des eaux du bassin supposées non renouvelées. Une telle demande aboutirait à une mort rapide du milieu sans les processus de dilution par les eaux marines et continentales et sans la réoxygénation par la photosynthèse et les échanges avec l'atmosphère.

L'effet des processus de dilution peut être évalué. On a vu aux paragraphes 3.1 et 3.2 que la région est soumise à des flux annuels d'eau de mer de 10.10^9 m^3 et d'eau douce compris entre 6 et 12.10^9 m^3 . Ces eaux contiennent au mieux 8 grammes d'oxygène par mètre cube. Leur volume annuel en contient donc au maximum entre 130.000 et 176.000 tonnes. Par suite la consommation annuelle induite par la pollution organique primaire de la ville ne représente que 9 à 12% du contenu en oxygène des eaux qui circulent dans la région. Ce qui est quand même important si on considère qu'elle doit être suivie par une demande plusieurs fois supérieure par la pollution organique secondaire. En outre, les processus de dilution intéressent surtout la baie d'Abidjan et le bassin central, mais dans une bien moindre mesure les baies de Cocody, de Marcory et de Biétri peu ouvertes à la circulation générale. Or, circonstance aggravante, ce sont justement ces baies qui sont soumises aux plus fortes charges polluantes (Fig.15, 16 et Tabl.1).

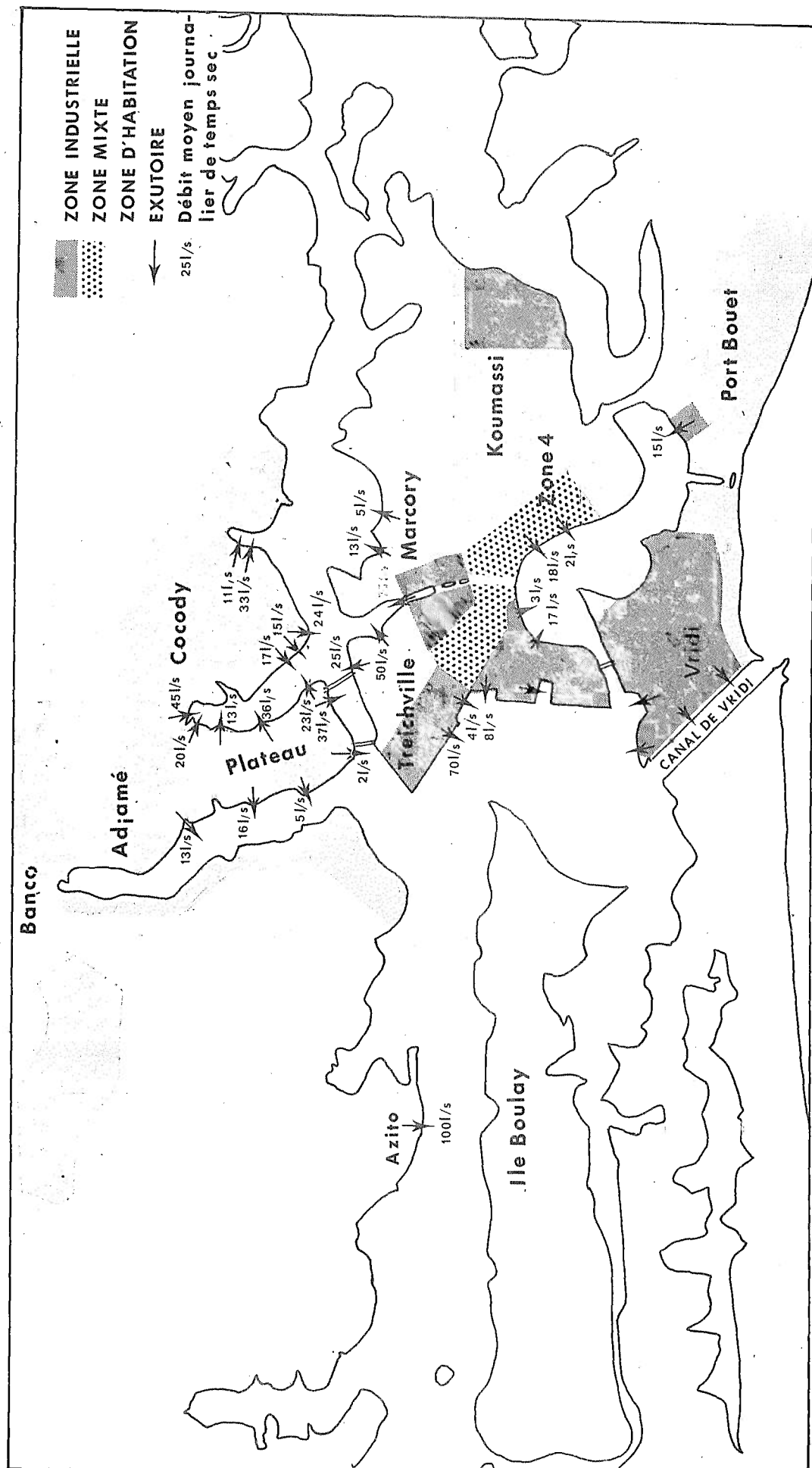


Fig. 15 PRINCIPAUX POINTS DE REJET D'EAU USEE DOMESTIQUE
(D'après Anonyme 1972 a)

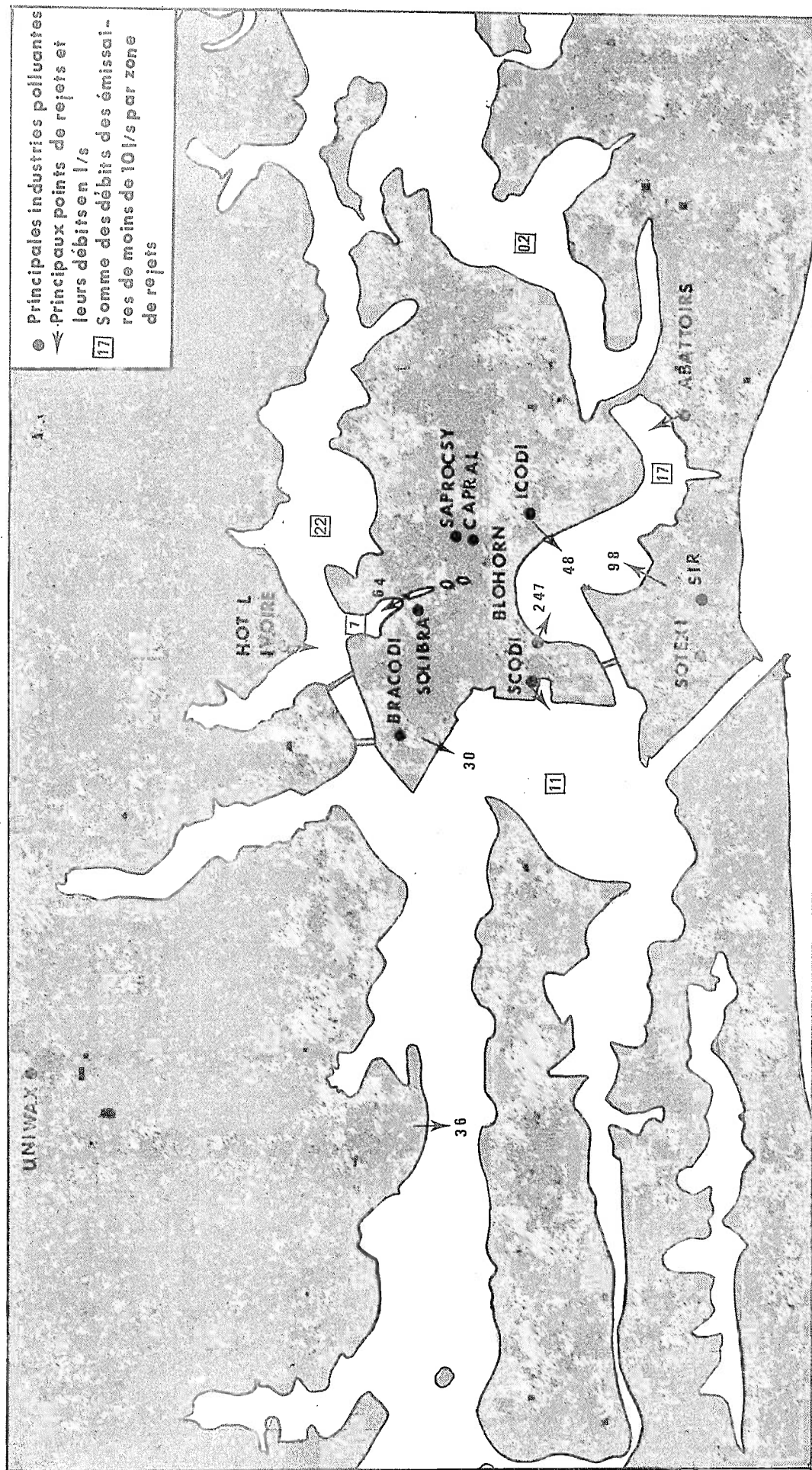


Fig.16 PRINCIPAUX POINTS DE REJET D'EAU USEE INDUSTRIELLE (d'après ANONYME 1972 a)

Z O N E S	Débit des émissaires d'eaux usées domestiques en l/s	Débit des émissaires d'eaux usées industrielles en l/s*	Surface de la zone en km ²	Charge polluante en l/s/km ²
Baie de Marcory	50	71	0.5	242
Baie de Cocody	169		1.3	130
Baie de Biétri	56	410	5.5	85
Bassin central Est	151	22	10.3	17
Baie du Banco	35		3.0	12
Baie d'Abidjan	82	41	12.8	10
Bassin central Ouest	100	36	16.6	8
Total =	643	580	50.0	Moy. = 24

TABLEAU 1: - Charge polluante des zones étudiées (d'après Anonyme, 1972a).

4.- TENEURS EN OXYGENE

4.1.- METHODES

Quatre cents profils verticaux de la teneur en oxygène ont été réalisés au moyen d'une sonde polarographique in situ à oxygène de marque YSI. Cet appareil a été étalonné par des dosages périodiques par la méthode de Winkler (STRICKLAND et PARSONS, 1968). Des mesures de température et de salinités simultanées ont été réalisées au moyen d'une sonde in situ à induction INDUSTRIAL INSTRUMENT. Les pourcentages de saturation en oxygène ont été calculés au moyen de l'équation de Green (GREEN et CARRIT, 1967). Les mesures dites "à marée haute" ou "à marée basse" ont été réalisées entre 1 heure avant et 2 heures après la renverse du courant dans le canal de Vridi. Les sorties se terminaient par les stations aval afin de tenir compte du temps de propagation de l'onde de marée.

* Sont exclues les eaux de refroidissement des centrales thermiques.

4.2.- BAIE D'ABIDJAN ET BASSIN CENTRAL

On a vu que les eaux profondes de la baie d'Abidjan et du bassin central proche sont toute l'année influencées par la marée. En mars-avril les eaux de mer qui passent le canal de Vridi sont saturées en oxygène. Pourtant les pourcentages de saturation observés en profondeur en baie d'Abidjan ne dépassent pas 80% (Fig.17a). On suppose que les eaux saïées qui entrent sont rapidement diluées dans les eaux salées déjà en place enrichies en matière organique sédimentée des strates supérieures et donc nettement sous-saturées. En saison de crue, les eaux de mer qui passent le canal de Vridi sont généralement déficitaires en oxygène. Elles maintiennent les eaux les plus salées de la baie d'Abidjan en dessous de 60% de la saturation (Fig.17b et C). En toute saison donc, les eaux profondes de la baie d'Abidjan et du bassin central proche sont sous-saturées, ceci d'autant plus que la couche de discontinuité signalée plus haut prouve qu'elles ne se mélangent pas avec les eaux de surface plus riches en oxygène. On n'observe cependant pas d'anoxie au fond. Les courants intenses toute l'année n'y permettent pas l'accumulation de vases organiques réductrices. Les fonds sont recouverts de sable ou de vases dures. Localement seulement, les fosses à l'abri de cette circulation, ou les zones très polluées (égout d'Azito, port de pêche) peuvent être recouvertes de vase réductrice meuble.

Au-dessus de la couche de discontinuité, les pourcentages de saturation sont partout supérieurs à 80%. Mais en saison de crue la turbidité limite la production d'oxygène photosynthétique et on n'a observé nulle part de sursaturation. En saison d'étiage au contraire, les eaux plus claires autorisent la production d'oxygène photosynthétique sur une plus grande épaisseur et des sursaturations de plus de 120% ont été notées en fin d'après-midi dans le bassin central (Fig.17a).

4.3.- LES BAIES PERIPHERIQUES

Différente est la situation des baies plus ou moins à l'abri des courants de marée et d'eau douce extérieure et objet d'une double source d'enrichissement organique : les égouts de la ville et les

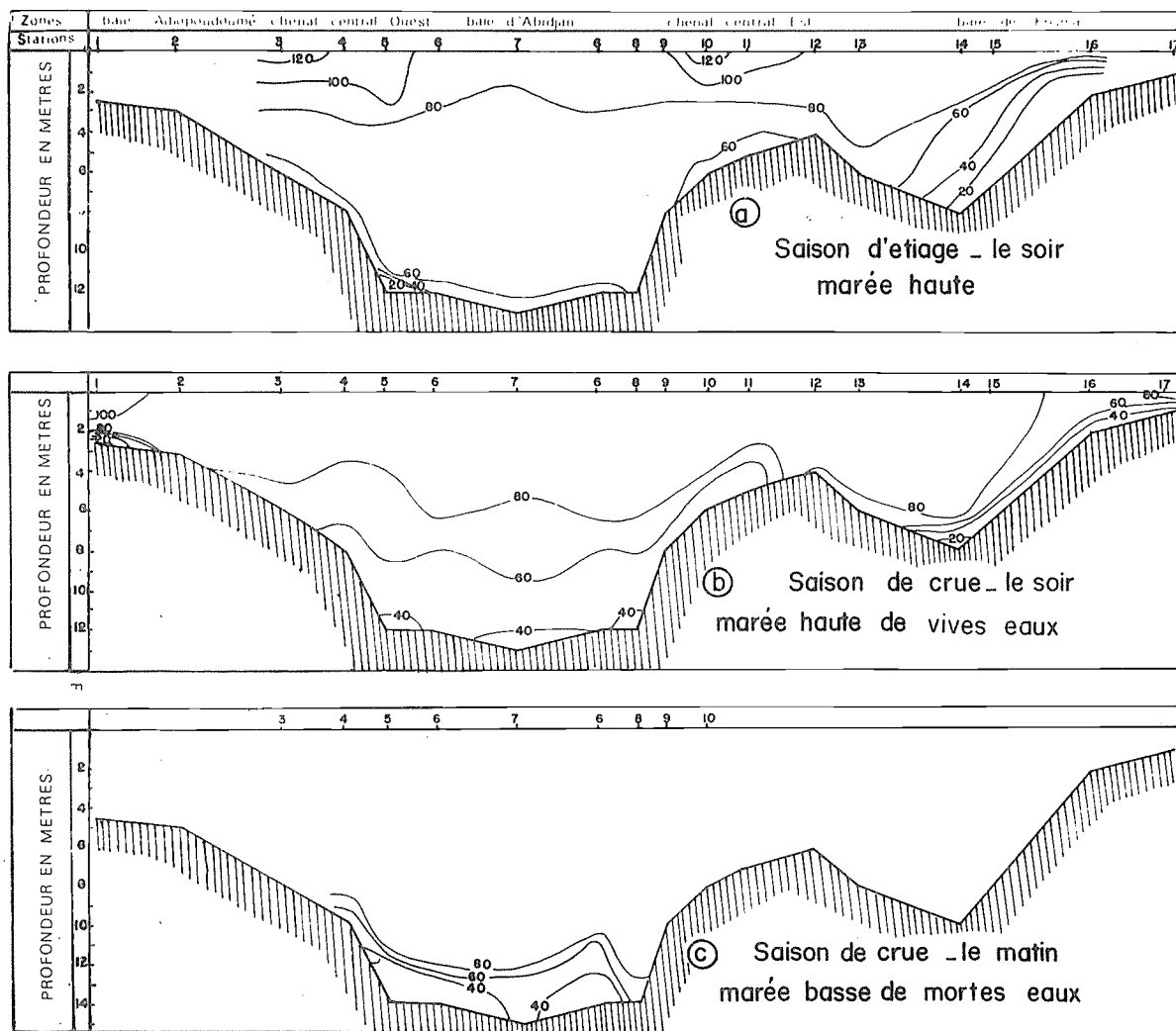


Fig. 17: POURCENTAGES DE SATURATION EN OXYGENE DE LA BAIE
D'ADIOPODOUME A LA BAIE DE KOUMASSI.
(Positions des stations: Fig 5)

rivières locales. Sur la figure 18, on constate qu'en surface, en saison d'étiage, les baies du Banco, de Cocody ainsi que les extrémités nord ouest et est de la baie de Biétri sont très sursaturées en oxygène le soir. Ces zones sont excessivement eutrophes. La matière végétale synthétisée en excès en surface sédimente (pollution organique secondaire) et va rejoindre au fond la matière organique détritique issue des rivières locales et des égouts (pollution organique primaire). Il n'est donc pas étonnant que ces baies soient tapissées d'une vase organique pauvre en oxygène ou carrément réductrice (Fig. 19).

En saison de crue, les baies sont envahies par les eaux douces, qui fortement turbides, contrarient la photosynthèse. De ce fait on y note plus rarement une sursaturation en surface qu'en saison d'étiage. Par ailleurs, la plus grande homogénéité hydrologique verticale autorise le mélange des eaux de surface et du fond et on a constaté moins souvent en septembre-octobre qu'en mars-avril une désoxygénation totale au fond. Dans le détail chaque baie est un cas différent qu'il convient d'examiner individuellement.

La baie de Koumassi ne présentait pas de sursaturation en oxygène en surface le soir au moment de nos mesures en saison d'étiage comme en saison de crue. Cela peut être relié à un enrichissement minéral moindre que celui des autres baies examinées: il ne s'y jette aucun cours d'eau et ses rives sont encore peu urbanisées. Cela peut aussi être dû à sa faible profondeur (2 m en moyenne); les eaux désoxygénées du fond se mélangeant à celle de surface au moindre coup de vent. Le fond de la baie est totalement anoxique en saison d'étiage. En saison de crue, l'homogénéité des eaux permet la remise en suspension des boues meubles réductrices et on a noté une faible oxygénation au fond (Fig. 17a et 17b).

La situation de la baie de Marcory est plus critique (Fig. 20 à 22). Elle reçoit les eaux polluées des égouts de Treichville et du canal aux bois qui collecte les déchets de nombreuses industries de la zone 4. Nos 10 visites dans cette baie nous ont permis de constater que la colonne d'eau y est très sous-saturée en permanence dans un rayon de 50 à 200 m autour des points d'émission d'eaux usées. Malgré sa large ouverture sur le bassin central, le bilan en oxygène de cette baie est nettement déficitaire. L'extension des eaux polluées désoxygénées est maximum à marée basse et semble-t-il en saison

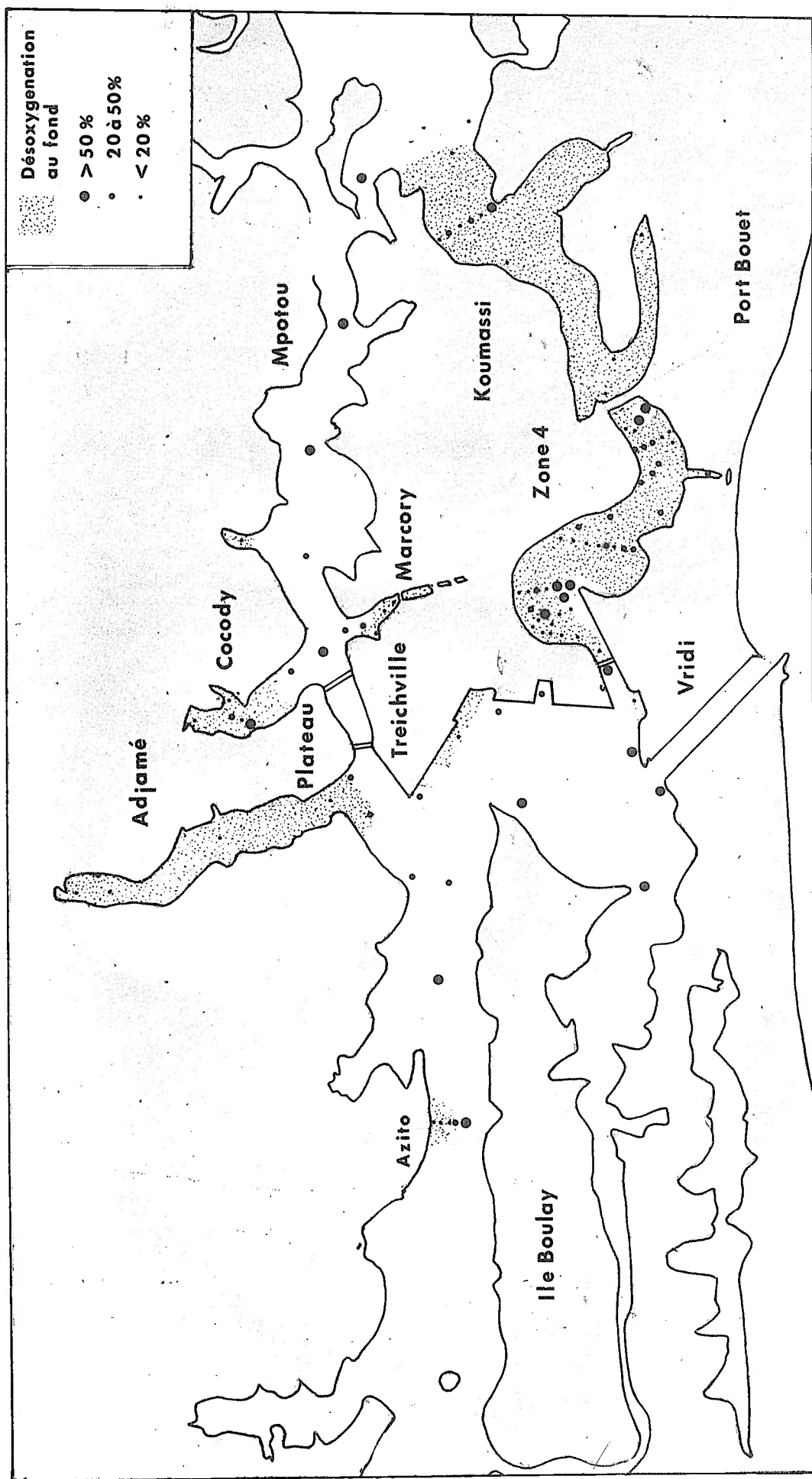


Fig. 18 : POURCENTAGES DE SATURATION EN OXYGENE DES EAUX DU FOND EN SAISON D'ETIAGE (mars 1974)

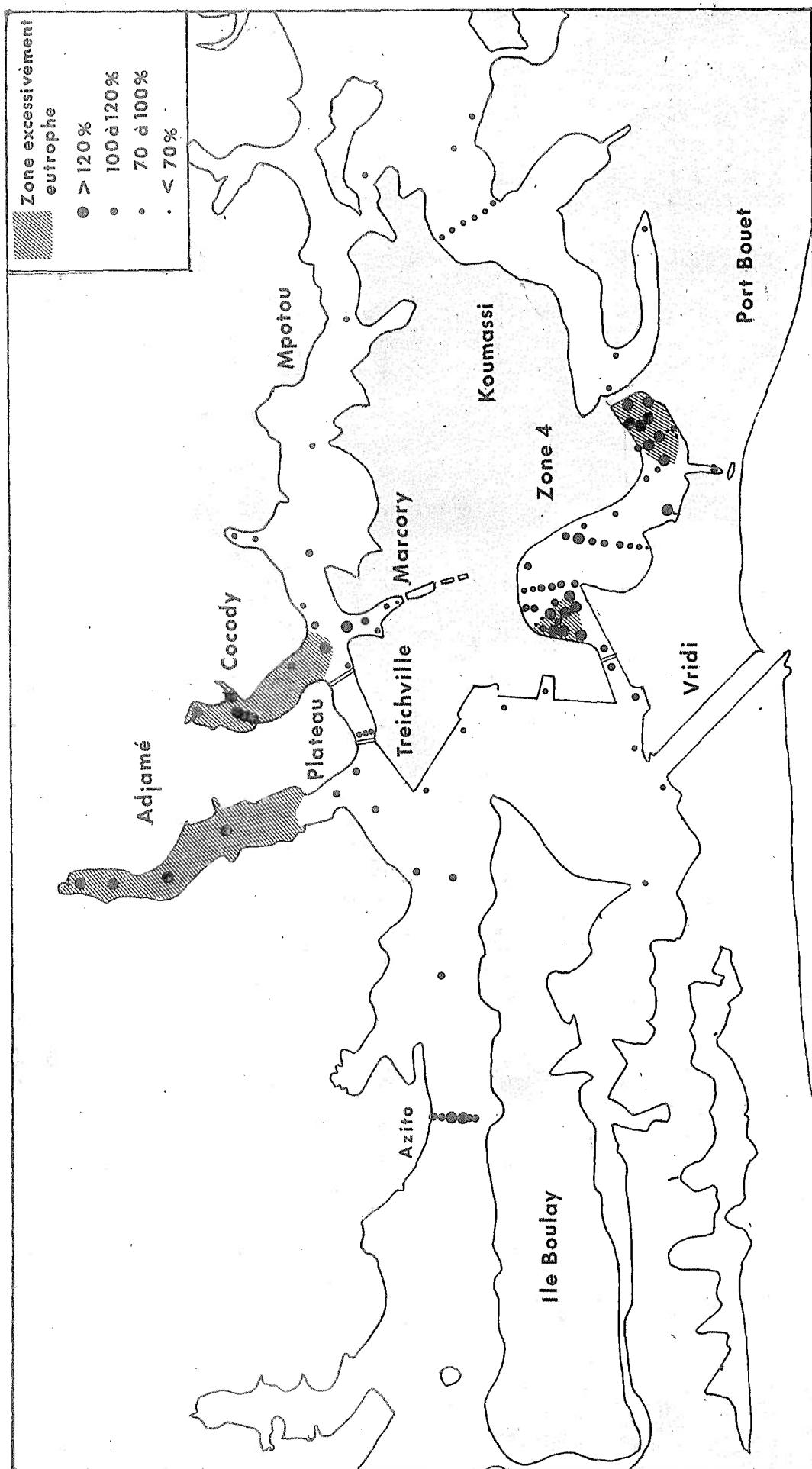


Fig.19: POURCENTAGES DE SATURATION EN OXYGENE DES EAUX DE SURFACE LE SOIR EN SAISON D'ETIAGE (mars 1974)

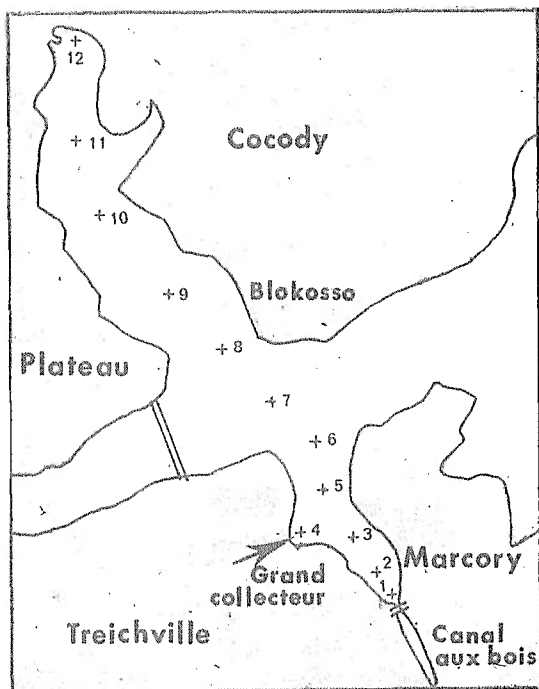


FIG 20 : POSITION DES STATIONS EN BAIE DE MARCORY ET DE COCODY

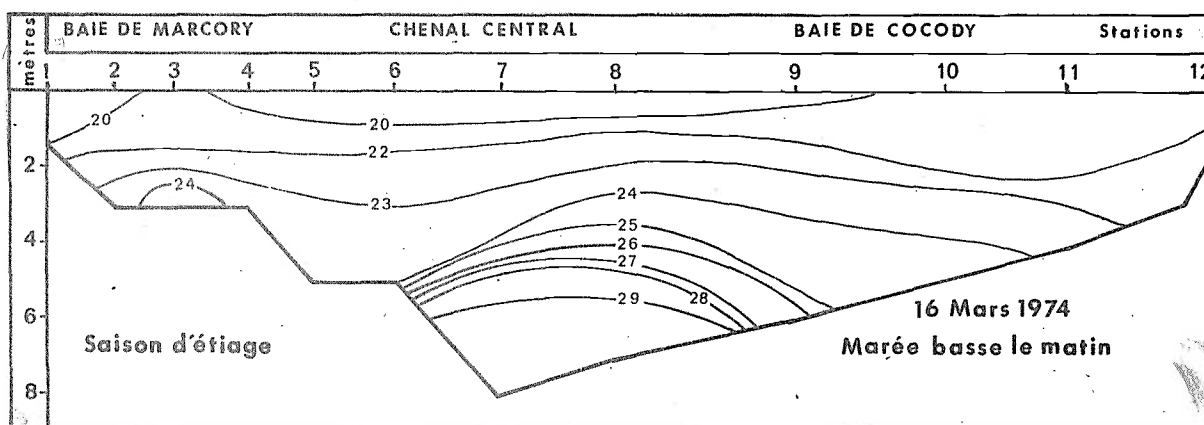
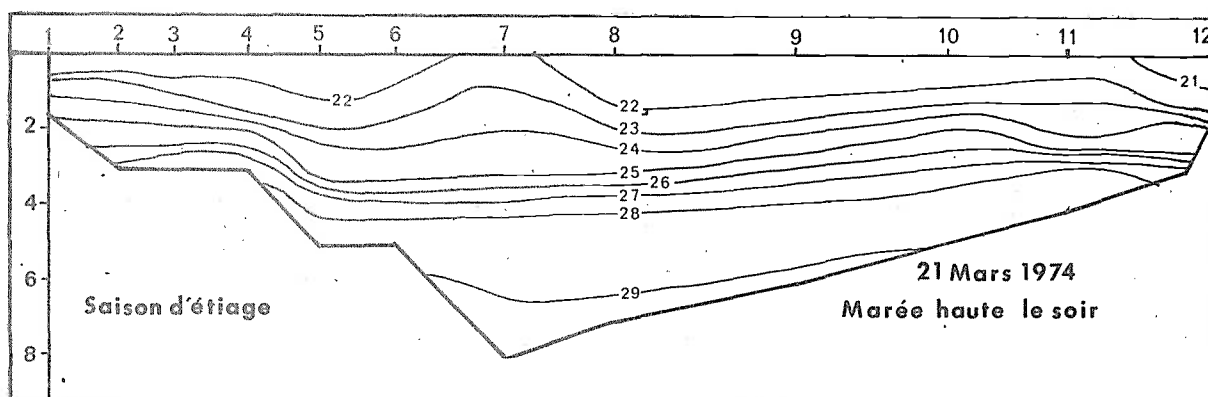


FIG 21 : COUPES DES SALINITES DANS LES BAIES DE MARCORY ET DE COCODY.

(Lors des mêmes stations en saison de crue, le 2 Octobre 1974; la salinité était partout inférieure à 1‰.)

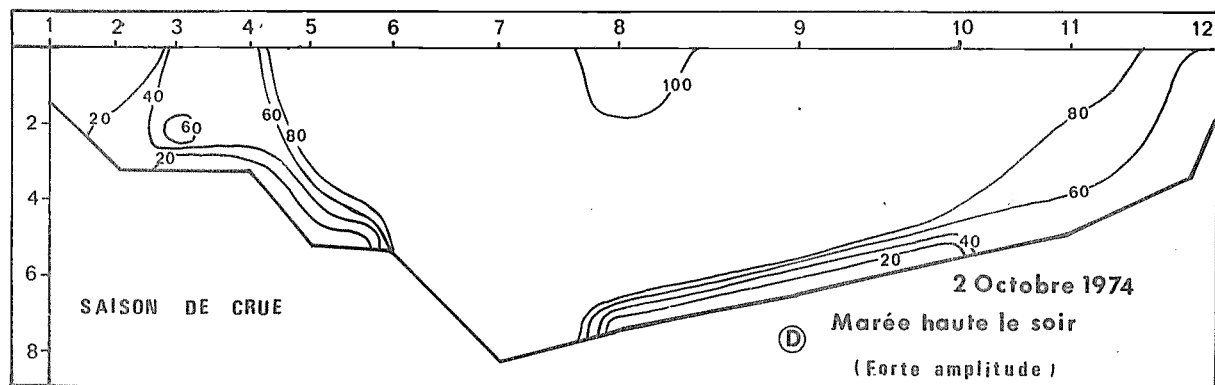
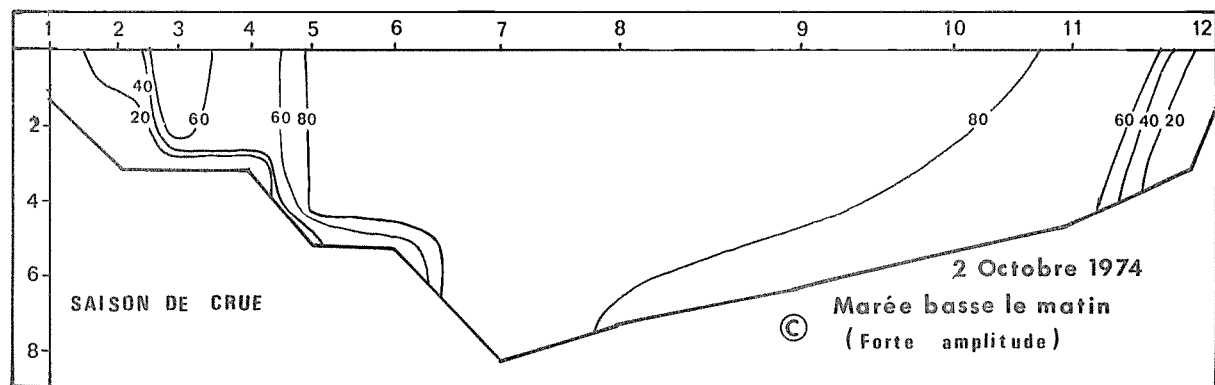
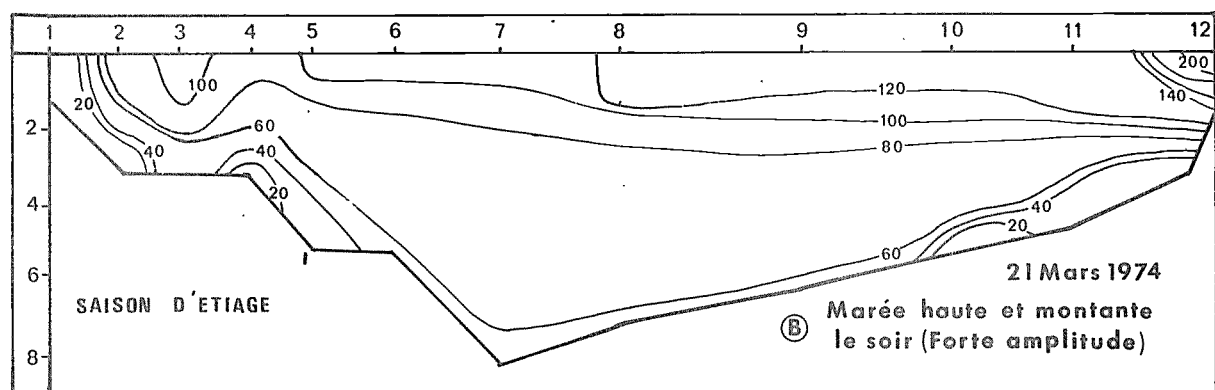
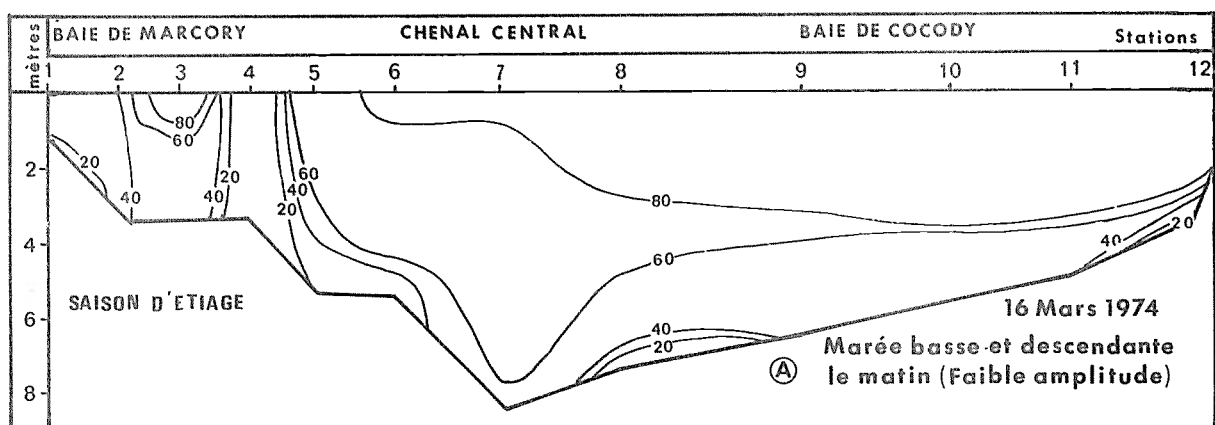


Fig. 22: COUPE DES POURCENTAGES DE SATURATION EN OXYGENE DANS LES BAIES DE COCODY ET DE MARCORY EN SAISON D'ETIAGE (A ET B) ET EN SAISON DE CRUE (C ET D)

de crue lorsque le courant à sens unique des eaux de la Comoé affaiblit le mouvement de va et vient de la marée.

La baie de Cocody est plus saine, son volume plus important permettant la dilution des déchets urbains (Fig. 20 à 22). Son extrémité est nettement eutrophe en saison d'étiage où des sursaturations de plus de 200% ont été observées en surface le soir. Les eaux du fond sont alors nettement sous-saturées. En saison de crue toute la colonne d'eau est homogène du point de vue hydrologique et les pourcentages de saturation en oxygène sont compris entre 80 et 100% à l'exception de l'extrémité nord de la baie qui est soumise aux apports organiques réducteurs des égouts d'Adjamé et, de ce fait, nettement sous-saturée.

La baie du Banco est d'un type nettement eutrophe (Fig. 23-24). Elle est enrichie par la rivière du Banco qui draine les sols riches en matière organique de la forêt du même nom et par les égouts de sa rive orientale totalement urbanisée. La production primaire est très fortement stimulée et des sursaturations en oxygène importantes sont notées toute l'année en surface le soir à l'extrémité nord. La matière organique végétale résultante sédimente et rejoint la matière organique des égouts et de la rivière pour provoquer une forte demande en oxygène. En saison d'étiage, nous avons constaté la formation d'une couche désoxygénée à la base de la discontinuité thermohaline, témoin de la reminéralisation de la matière organique au niveau de cette barrière de densité. La trace de cette couche se retrouve jusqu'à l'extré-

mité sud de la baie. Entre le fond totalement anoxique et cette couche, les eaux très salées sont relativement mieux oxygénées. En saison de crue une

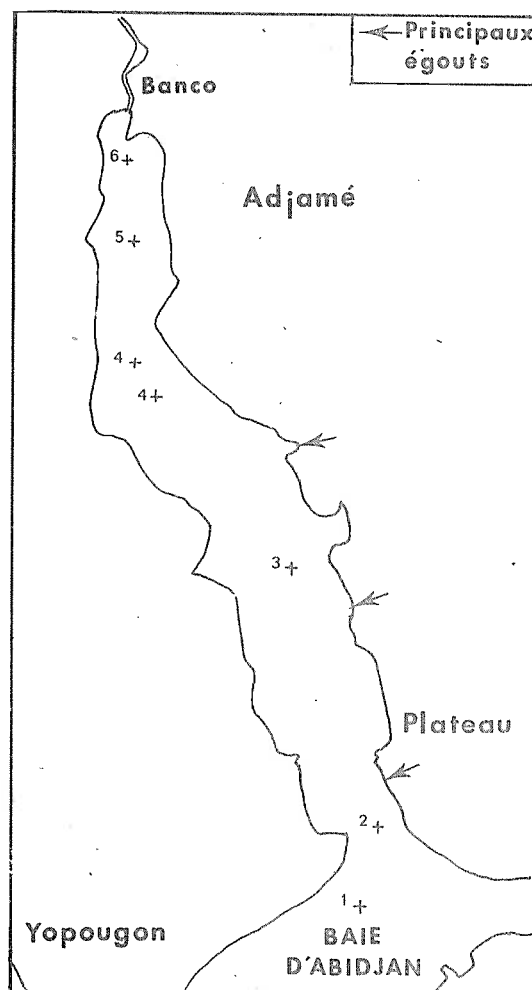


Fig. 23 : POSITION DES STATIONS DE LA
FIGURE 24

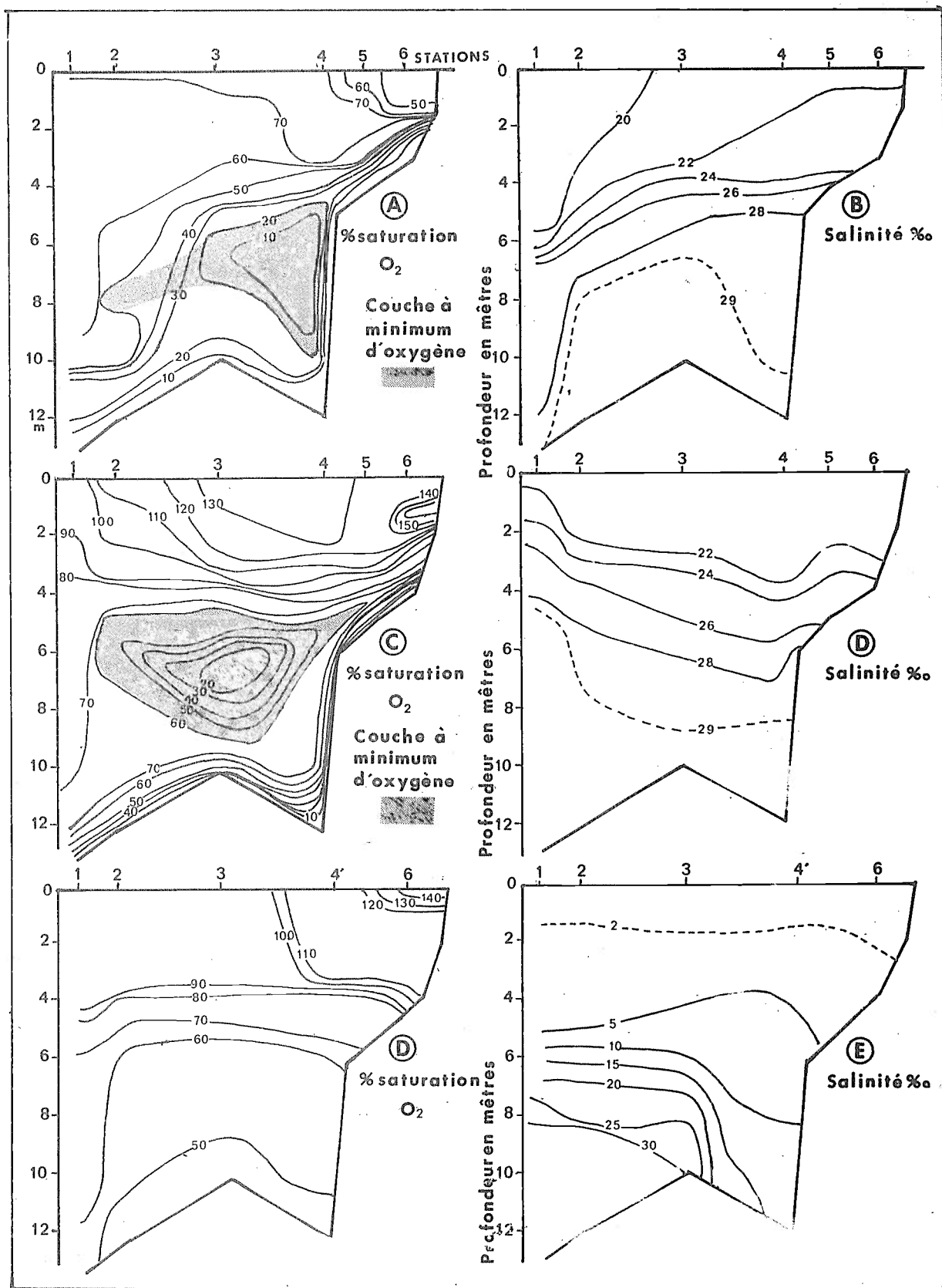


FIG 24: COUPES DU POURCENTAGE DE SATURATION ET DE LA SALINITE EN BAIE DU BANCO.

- (A) ET (B) : EN SAISON D'ETIAGE LE MATIN A MAREE DESCENDANTE ET BASSE.
 (C) ET (D) : EN SAISON D'ETIAGE LE SOIR A MAREE MONTANTE ET HAUTE.
 (E) ET (F) : EN SAISON DE CRUE LE SOIR A MAREE MONTANTE ET HAUTE.

telle répartition verticale de l'oxygène n'a pas été observée; même les eaux du fond sont alors bien oxygénées.

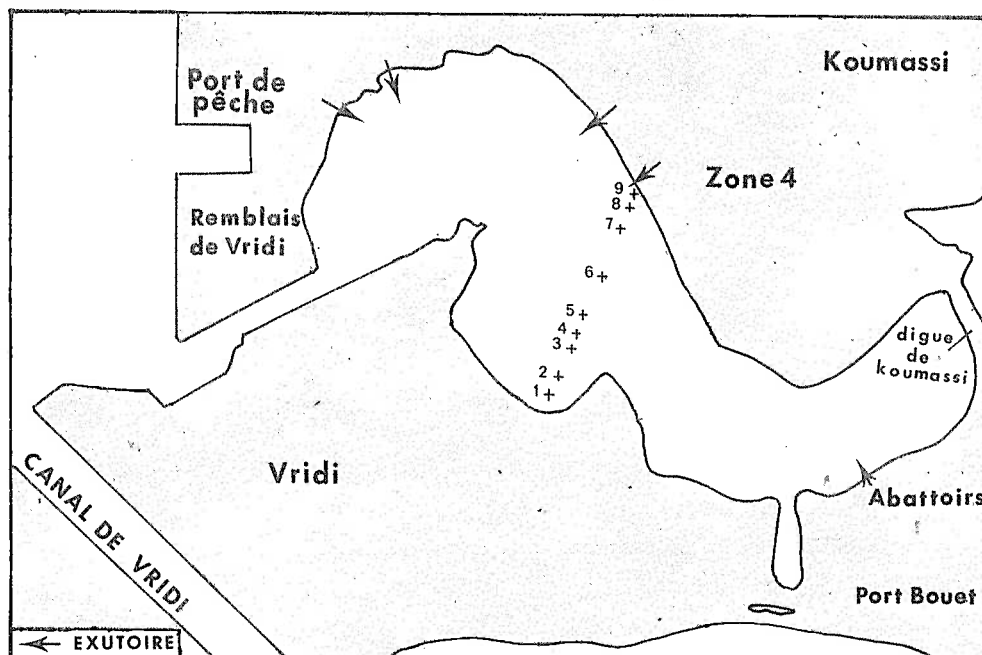


Fig. 25 : POSITIONS DES STATIONS DE LA FIGURE 26

La baie de Biétri enfin, est la plus isolée des baies étudiées, depuis la fermeture presque totale de sa passe vers la baie d'Abidjan par le remblais de Vridi (Fig. 25). Aussi le brassage des eaux y est-il peu important, ainsi que le montrent les mesures de courant du CERBOM (ANONYME, 1972), et son état d'oxygénation est très influencé par les rejets d'eaux usées. Enrichie par les apports organiques domestiques et industriels de la zone 4, de la zone industrielle de Vridi et de la nouvelle zone urbaine de Port Bouët, elle présente des caractères d'eutrophie excessive. En saison d'étiage la plus grande partie de ses eaux de surface sont suroxygénées (Fig. 19). Son extrémité orientale, peu profonde, à eaux quasi stagnantes et enrichies par les rejets des abattoirs de Port Bouët, présente même des sursaturations de plus de 150% le soir. Quelques zones plus limitées sont sous-saturées en surface. On constate qu'elles correspondent aux régions côtières peu profondes de la côte nord où sont retenues les eaux polluées des égouts de la zone 4 par les vents dominants du sud-ouest.

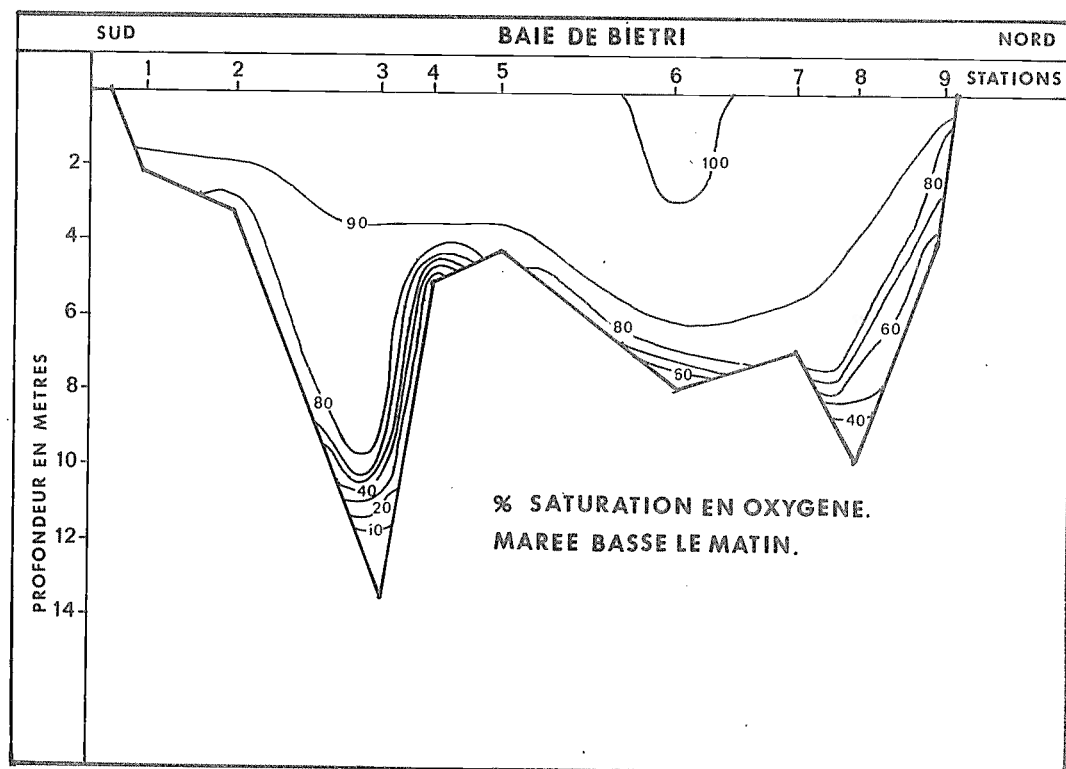
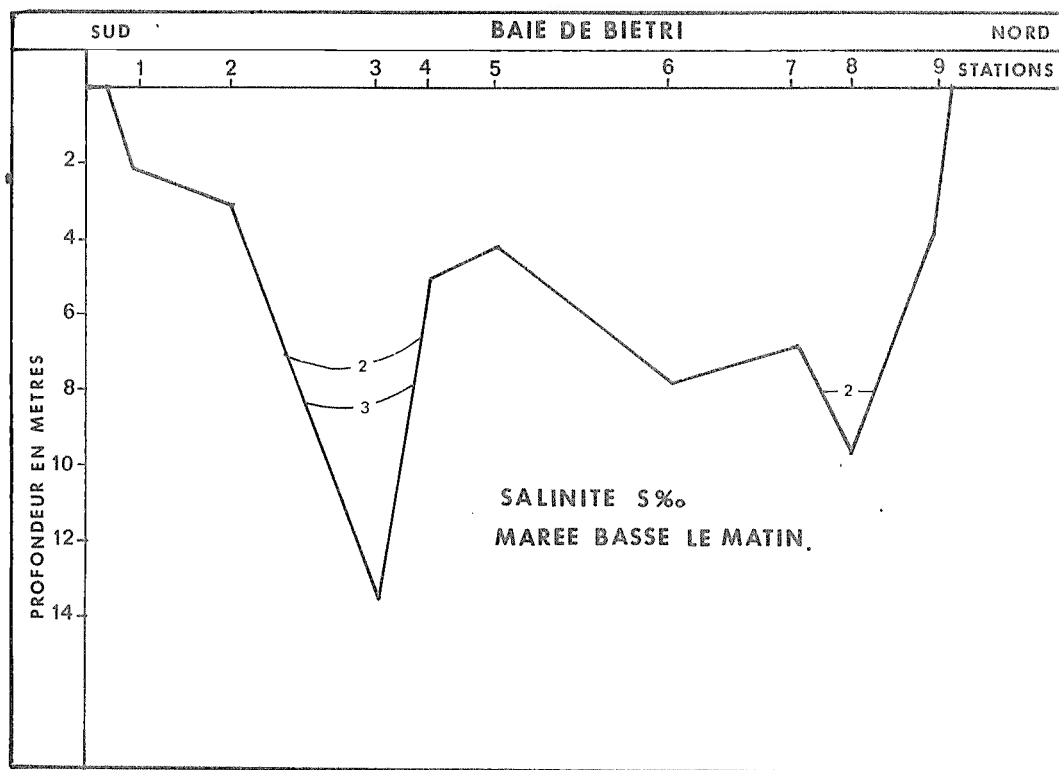


FIG 26 : COUPES DES SALINITE ET POURCENTAGE DE SATURATION EN OXYGENE
EN BAIE DE BIÉTRI LORS DE LA SAISON DE CRUE (OCTOBRE 1974.)

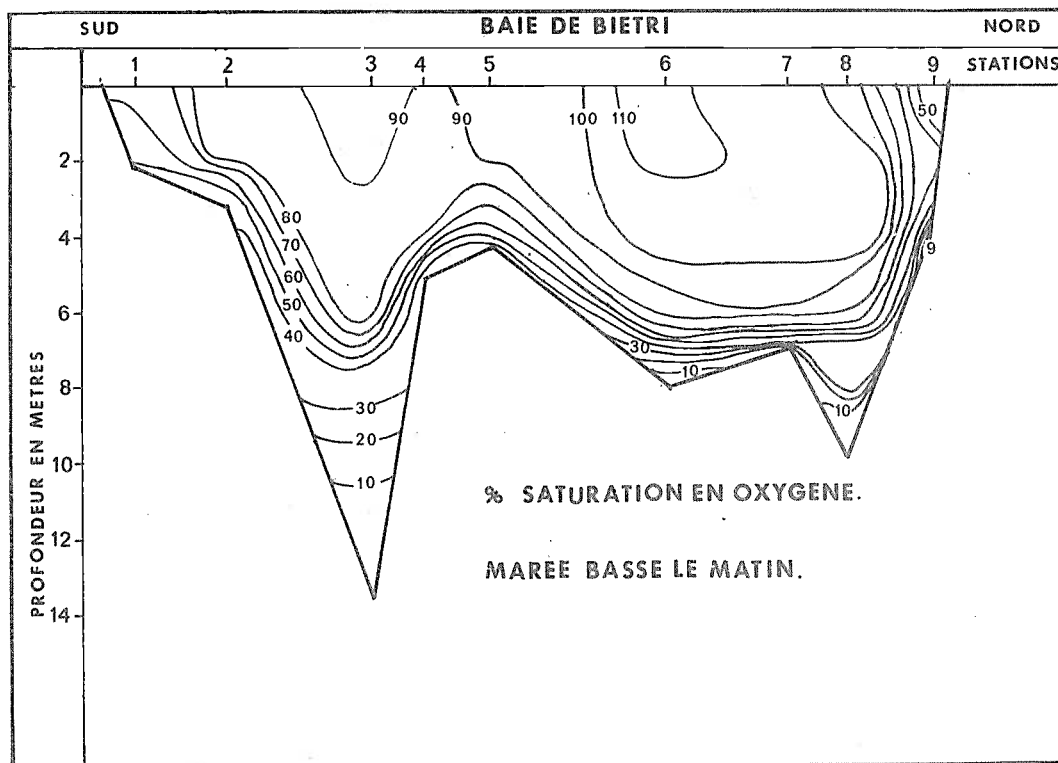
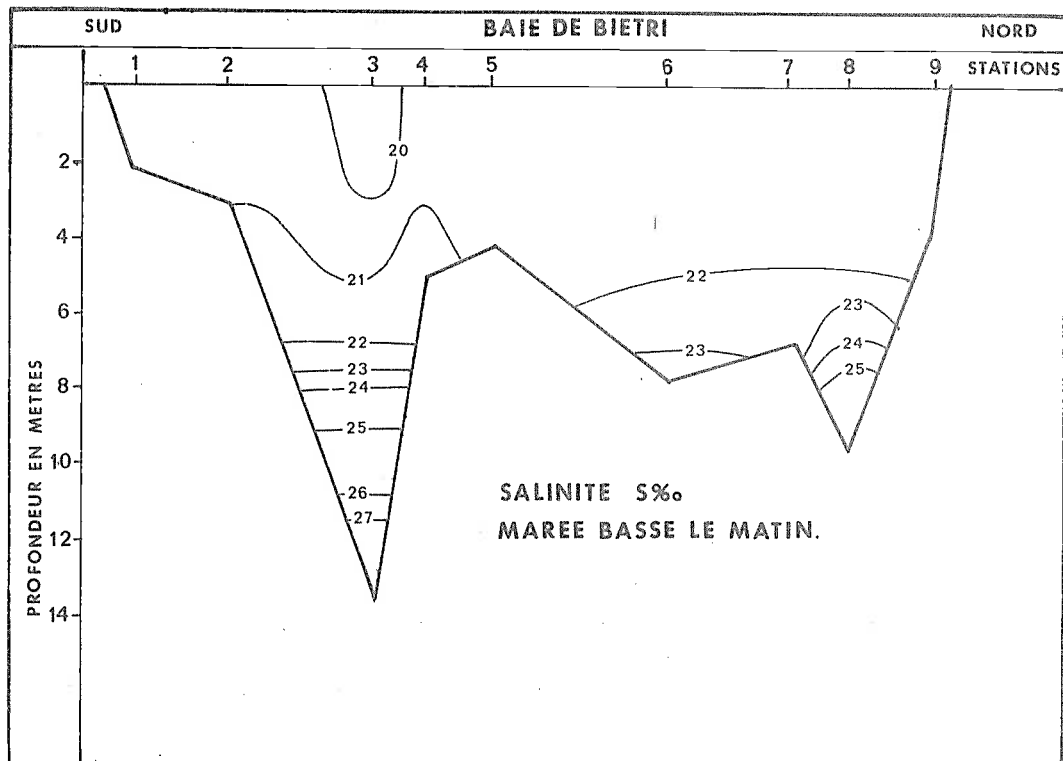


FIG 27 : COUPES DES SALINITE ET POURCENTAGE DE SATURATION EN OXYGENE
EN BAIE DE BIETRI LORS DE LA SAISON D'ETIAGE (MARS 1974)

Deux autres zones de sous-saturation sont localisées autour des émissaires de deux des entreprises parmi les plus polluantes de la ville (NOVO, 1974), une huilerie-savonnerie au nord-ouest et les abattoirs au sud-est.

La répartition verticale de l'oxygène, particulièrement bien étudiée ici, semble pouvoir être généralisée à toutes les baies fermées (Fig. 26-27).

- En saison d'étiage la stratification empêche la réoxygénation des eaux profondes. Il en résulte une couche pauvre en oxygène qui suit régulièrement le fond, liée à la présence d'une vase organique réductrice. Cette couche s'épaissit dans les fosses remplies d'eau dense, salée et peu oxygénée. Vers les berges non polluées, la stratification verticale des eaux disparaît; leur mélange vertical est possible. L'oxygène a alors une concentration relativement homogène, inférieure en surface mais supérieure au fond à ce qu'elle est au centre de la baie. La vase disparaît et fait place à un sable correctement oxygéné.

- En saison de crue la stratification hydrologique étant moindre, celle de l'oxygène l'est aussi. Les fonds sont mieux oxygénés; les eaux sus-jacentes le sont moins, d'autant moins qu'à cette époque la grande turbidité des eaux contrarie la production d'oxygène photosynthétique. Seules les fosses et les zones proches d'émissaires d'eaux usées sont désoxygénées au fond et seule l'extrémité est de la baie présente une sursaturation notable en surface le soir.

4.4.- ESSAI DE CLASSIFICATION DES EAUX AUTOUR D'ABIDJAN

Nos observations nous permettent de distinguer cinq zones correspondant à des situations-types (Fig. 28).

a) - Zone d'estuaire permanent

Les eaux y sont correctement oxygénées grâce aux courants de marée saline en profondeur et d'eau douce en surface. Les profils de répartition verticale de la température, de la salinité et de l'oxygène sont du type de ceux de la figure 29. Cette zone correspond au canal de Vridi et à la baie d'Abidjan.

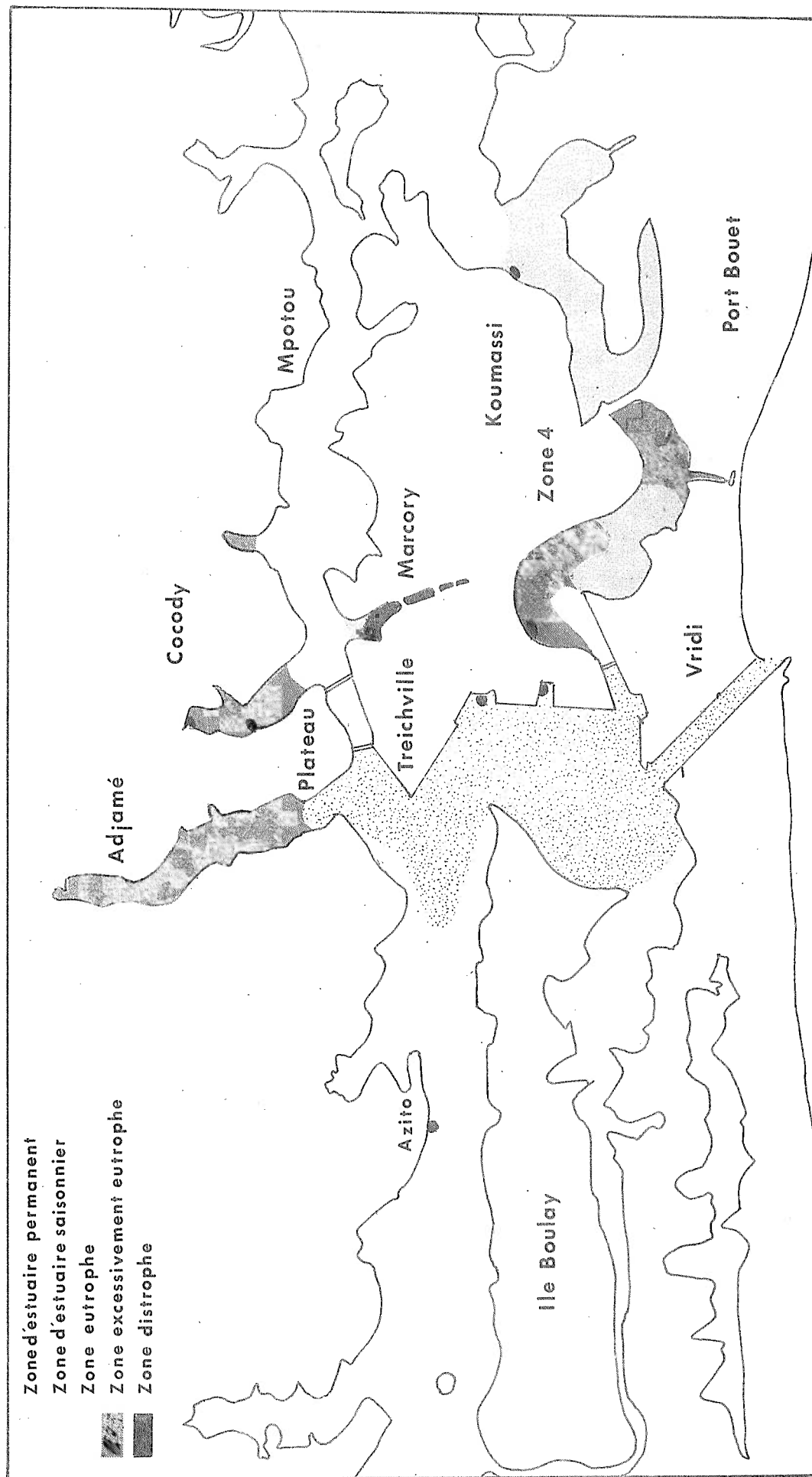


Fig. 28 : CLASSES D'EAUX DANS LA REGION D'ABIDJAN

b) - Zone d'estuaire saisonnier

Cette zone occupe tout le bassin central, le sud de la baie du Banco et de Cocody. Au moment des crues maximales de la Comoé, elle est entièrement dessalée. En saison d'étiage elle présente un faciès d'estuaire avec un front d'eau salée mobile bien caractérisé sur la fig.7a à la hauteur de la station 13. Le brassage des eaux salées et des eaux douces y maintient un état oxygéné satisfaisant (Fig.30).

c) - Zone excessivement eutrophe

La pollution organique et la stagnation des eaux y favorise une production végétale intense surtout en dehors des périodes de crue. Il en résulte de fortes sursaturations en surface en fin d'après-midi suivies de sous-saturations en fin de nuit (Fig.31). En profondeur il y a désoxygénation des eaux et dépôt de vases organiques toxiques chargées de composés réducteurs. Au moindre coup de vent la stratification disparaît et ces vases remises en suspension risquent d'empoisonner les strates supérieures. Un tel phénomène doit aussi se produire en saison de crue lorsque les eaux sont physiquement homogènes de la surface au fond. Il pourrait alors être responsable des mortalités massives de poissons alors observées (GARCIA et BRIET, 1974). Cette zone occupe le fond des baies du Banco et de Cocody ainsi que la plus grande partie de la baie de Biétri.

d) - Zone eutrophe peu profonde

Y ont été classées le sud de la baie de Biétri et la baie de Koumassi. On n'y a pas observé de sursaturation en oxygène le soir lors de nos deux visites. Ou bien ces régions sont moins eutrophes que les précédentes par le fait qu'elles sont plus éloignées des égouts; ou bien leur faible profondeur favorise le brassage de leur eaux de surface avec celles du fond moins oxygénées.

e) - Zone distrophe

La pollution organique primaire et (ou) la pollution chimique y provoquent une désoxygénation accentuée de la quasi-totalité du volume d'eau (Fig. 32). Une grande partie de la baie de Marcory en fait partie. Ailleurs cet état est localisé à proximité des émissaires d'eaux usées importants.

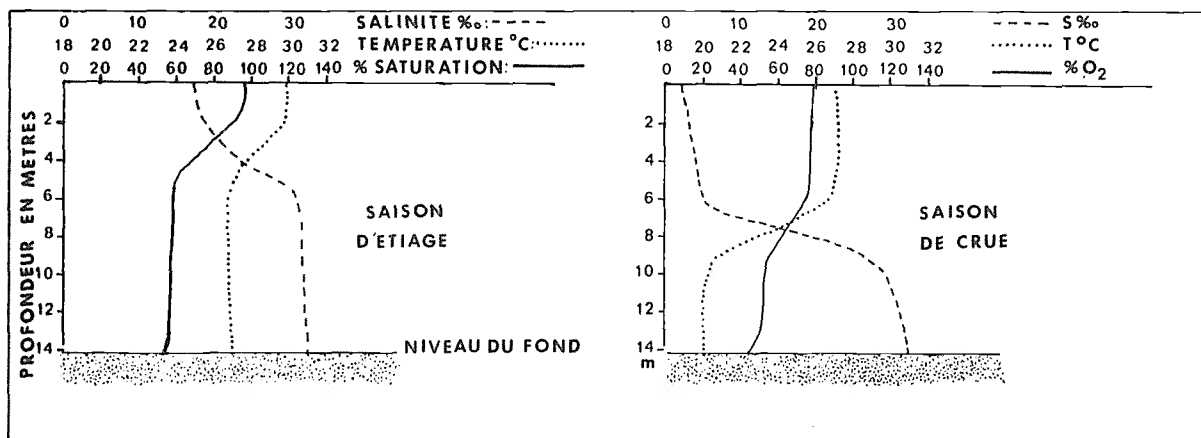


FIG 29: PROFILS VERTICAUX TYPES DE LA SALINITE, DE LA TEMPERATURE ET DU POURCENTAGE DE SATURATION EN OXYGENE DANS LA ZONE D'ESTUAIRE PERMANENT.

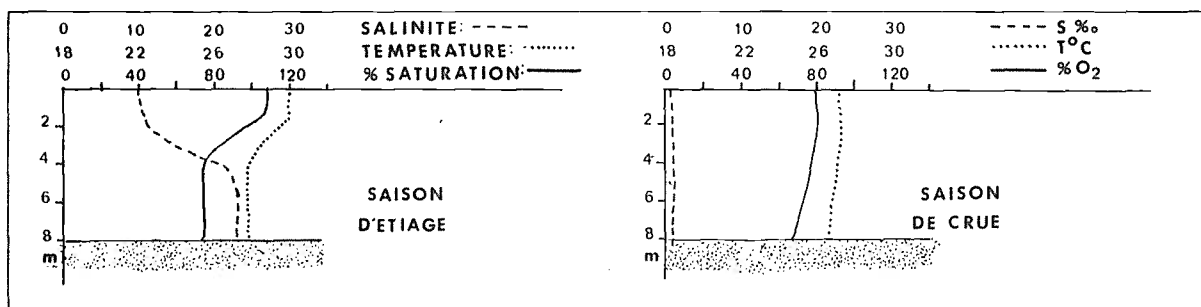


FIG 30: PROFILS VERTICAUX TYPES DE LA SALINITE, DE LA TEMPERATURE ET DU POURCENTAGE DE SATURATION EN OXYGENE DANS LA ZONE D'ESTUAIRE SAISONNIER.

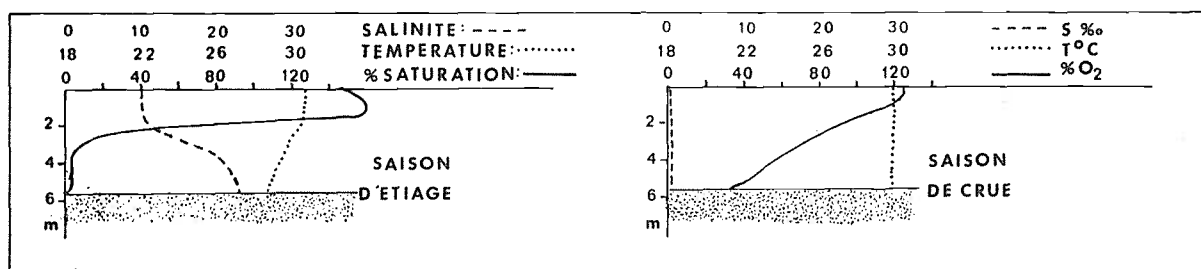


FIG 31: PROFILS VERTICAUX TYPES DE LA SALINITE, DE LA TEMPERATURE ET DU POURCENTAGE DE SATURATION EN OXYGENE DANS LA ZONE EXCESSIVEMENT EUTROPHE EN FIN D'APRES MIDI

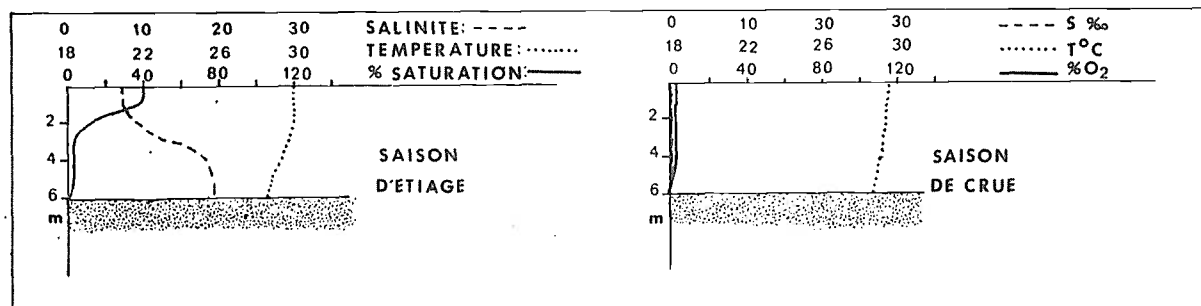


FIG 32: PROFILS VERTICAUX TYPES DE LA SALINITE, DE LA TEMPERATURE ET DU POURCENTAGE DE SATURATION EN OXYGENE DANS LA ZONE DISTROPHE.

f) - Remarques

En bref, la lagune autour d'Abidjan présente des faciès très divers allant du milieu franchement eutrophe et suroxygéné à celui totalement distrophe et désoxygéné. Les lignes qui précèdent ne donnent qu'une faible idée de son hétérogénéité et de son instabilité. Aux facteurs de variation des teneurs en oxygène cités dans le chapitre 3, il faudrait ajouter les courants tourbillonnaires, les vents changeants, les rejets d'effluents irréguliers et de nature variable, etc... Dans un tel contexte, on admettra que l'étendue des zones de la figure 28 puisse notablement changer selon les circonstances.

5.- DISCUSSION

Le métabolisme d'un organisme aquatique est généralement indépendant de la teneur en oxygène des eaux jusqu'à une limite en dessous de laquelle il décroît puis s'annule entraînant la mort. Ainsi JAWED (1973) constate chez deux crustacés Mysidaceae un métabolisme affecté à partir de 30% de saturation en oxygène et la mort au-dessous de 13%. Le polychète Capitella capitata ne se reproduit pas dans un milieu contenant moins de 2,5 ml/l d'oxygène et meurt lorsqu'il atteint 2,0 ml/l (REISH et BARNARD, 1960). Mais la tolérance vis-à-vis des faibles concentrations en oxygène est très variable selon les espèces, leur état physiologique, leur maturité et leur adaptation. Certains mollusques, annélides et crustacés peuvent survivre plusieurs jours en anaérobiose (VERNBERG, 1972). Certaines espèces de poissons se meuvent dans des eaux sans oxygène d'autres sont inertes dans des eaux saturées à 45% (HALL, 1930 cité dans VERNBERG, 1972). Le copépode Calanus finmarchius résiste à des eaux à 1.4 ml d'oxygène par litre lorsqu'il est au stade V de sa vie larvaire et seulement de 0.7 ml d'oxygène lorsqu'il est adulte (MARSHALL et ORR, 1935). On pourrait multiplier les exemples, montrant ainsi la difficulté d'apprécier l'influence des concentrations en oxygène sur les organismes d'un écosystème sans études particulières. En outre, les variations des concentrations en oxygène sont généralement accompagnées d'autres modifications du milieu qui influencent les

organismes qui y vivent. Disons qu'en dessous d'une certaine limite: 50% de la saturation par exemple, le nombre d'organismes susceptibles de se reproduire et de survivre diminue. L'écosystème évolue avec de graves répercussions sur le plan pratique: dégradation de la qualité de l'eau du point de vue de son utilisation, atteinte aux conditions hygiéniques et esthétiques, diminution des ressources biologiques exploitables, etc...

Et pourtant la désoxygénation des eaux est un phénomène naturel qui se produit dans des milieux variés. Ainsi, dans tous les océans, existe vers 500 m de profondeur de part et d'autre de l'équateur, une couche d'eau où le contenu en oxygène peut descendre au-dessous de 1 ml/l dans l'atlantique est et de 0,5 ml/l dans le Pacifique est (SVERDRUP et al., 1942). Des teneurs de moins de 1 ml d'oxygène par litre ont été observées au large des côtes Ivoiriennes dans les eaux d'upwelling (VERSTRAETE, 1970). Les eaux profondes de la mer Baltique sont anoxiques (HELA et KOROLEFF, 1957), ainsi que celles du nord de l'Adriatique (STIRN, 1965), et de la mer Noire (RICHARDS, 1955). C'est aussi le cas de certains fjords norvégiens et de nombreux lacs profonds pourtant à l'écart de toute concentration urbaine ou industrielle.

En lagune Ebrié également, la désoxygénation partielle ou totale de certains fonds est un phénomène naturel et ancien. Ainsi, nous avons constaté l'existence d'une couche d'eau anoxique de 10 m d'épaisseur dans une fosse en baie d'Abou-Abou pourtant à l'abri de toute perturbation d'origine humaine. Ainsi, TASTET (1971) reconnaît que 50 m de vases organiques réductrices recouvrent le soubassement sableux original sous le 2ème pont de la ville. Toutes les dépressions lagunaires seraient ainsi envahies par de telles vases dont l'âge peut varier du maximum de la dernière transgression il y a 4 à 5000 ans jusqu'à aujourd'hui. Ces vases se sont déposées dans des conditions anaérobies dont l'établissement dans les lagunes, les fjords et les baies marines fermées est identique et bien connu: la rencontre d'eau de mer et d'eau douce de densités différentes entraîne la formation d'une stratification très accusée qui, s'opposant aux courants de convection, empêche la réoxygénation des eaux du fond.

Quel est alors dans ces conditions le rôle de l'homme sur l'état d'oxygénation de la lagune? Il est a priori multiple et contradictoire.

Ainsi, les grands travaux publics peuvent améliorer ou détériorer la situation. L'ouverture du canal de Vridi a eu pour conséquence la suppression de l'anoxie observée en 1950 au fond du bassin central entre Grand Bassam et Abidjan (DEBYSER, 1955). Dans cette zone saumâtre, les courants alors faibles ou nuls et le gradient vertical de densité entraînaient le développement de conditions anoxiques, aujourd'hui disparues grâce au brassage suffisant des eaux par la marée et par la Comoé. Par contre, l'isolement de la baie de Biétri par la construction de la digue de Koumassi et du remblai de Vridi (Fig.24) a produit l'effet exactement contraire.

Quant aux effluents d'origine domestique ou industrielle ils ne peuvent que détériorer la situation du milieu lagunaire déjà naturellement trop riche en matière organique. Les conséquences de ces apports artificiels sur la répartition de l'oxygène dissous sont indiscutables en baie de Marcory et en certains points des baies de Cocody, de Biétri et du Banco. Ailleurs, la situation n'apparaît pas être significativement différente de ce qu'elle est en dehors de la zone urbaine. C'est que la quantité de ces rejets est encore relativement modeste vis-à-vis de la capacité d'autoépuration du volume d'eau important qui circule dans la région. Mais au taux actuel de croissance démographique et industrielle du grand Abidjan, ces apports doublent tous les sept ans. Leur épuration par les eaux naturelles risque alors de devenir insuffisante dans des zones de plus en plus étendues. En outre l'oxygène n'est qu'un témoin imparfait de certaines pollutions. D'autres paramètres sont à suivre pour déduire la nature et la profondeur des bouleversements induits par la pollution, ainsi que leur aspect irréversible ou non. Certaines pollutions peuvent n'avoir aucun effet sensible sur le bilan en oxygène. Les peuplements d'origine peuvent simplement évoluer vers des peuplements sans intérêt économique. Le milieu peut devenir favorable au maintien ou à la prolifération de microorganismes dangereux pour la santé humaine. Certains toxiques peuvent se transmettre et se concentrer le long des chaînes alimentaires jusqu'à l'homme etc...

6.- RESUME ET CONCLUSION

a) - L'hydrologie de la lagune Ebrié est soumise à des variations de périodicité biquotidiennes, bimensuelles et saisonnières liées aux marées,

aux précipitations locales et aux crues des fleuves. Quatre cents profils de répartition verticale de l'oxygène, de la température et de la salinité ont été faits au cours des conditions extrêmes du cycle hydrologique annuel: en mars-avril en saison d'étiage, et en septembre-octobre en saison de crue, à marée haute et à marée basse dans les deux cas.

b) - En mars-avril, toute la région d'Abidjan présente un faciès d'estuaire. La salinité varie alors de 32‰ en profondeur dans la baie d'Abidjan à 13‰ en baie de Koumassi. La stratification thermohaline limite les échanges entre les eaux du fond et celles de surface. En septembre-octobre, les eaux du fleuve Comoé en crue envahissent toute la région à l'exception du fond de la baie d'Abidjan. La salinité est alors quasi nulle et l'homogénéité des eaux favorise les échanges verticaux.

c) - L'état d'oxygénation de la lagune est caractérisé par une grande instabilité. On envisage le rôle de la pollution, des apports d'eaux océaniques et continentales, de la photosynthèse, des échanges avec l'atmosphère et de la stratification. La demande en oxygène par la pollution organique primaire, représente de 12 à 16% du contenu des eaux circulant dans la région; elle est très inégalement répartie dans l'espace.

d) - Depuis l'ouverture du canal de Vridi, le bassin central et la baie d'Abidjan sont toute l'année parcourus par des courants de marée et d'eau douce qui diluent efficacement les effluents polluants et empêchent la formation de dépôts réducteurs.

e) - Dans les baies, le brassage des eaux est moindre. En baie du Banco, de Cocody et de Biétri, la pollution accélère l'état eutrophe naturel. C'est ainsi qu'en saison d'étiage les eaux de surface sont très sursaturées le soir (jusqu'à 200%). La stratification verticale favorise l'apparition d'une couche désoxygénée en profondeur. Le fond est recouvert de vases organiques réductrices. En saison de crue, la turbidité contrarie la production d'oxygène photosynthétique en surface. La disparition de la stratification permet la réoxygénation des eaux du fond et la mise en suspension des vases organiques meubles riches en composés réducteurs toxiques. Ce phénomène pourrait être à l'origine des mortalités massives de poissons parfois observées pendant les crues. En baie de Marcory, le bilan en oxygène est nettement

déficitaire; les eaux y sont désoxygénées dans un rayon de 50 à 200m autour des deux principaux émissaires d'eaux usées.

f) - Une classification des eaux de la région basée sur les profils verticaux d'oxygène est proposée.

Remerciements:

Les auteurs remercient MM. R.DJEDJE, S.GARCIA, F.GERLOTTO et K. OKOMA pour leur participation aux mesures sur le terrain.

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1967.- "Charte européenne de l'eau" adoptée par le conseil de l'Europe, à Strasbourg, le 8 août 1967.
- ANONYME, 1969.- Guinée I, croisière du navire océanographique "Jean Charcot". Travaux et documents de l'ORSTOM n°3, 87 p.
- ANONYME, 1971.- Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation. Rapport OCDE, Paris, 278 p.
- ANONYME, 1972a.- Etudes préliminaires à l'établissement des projets d'alimentation en eau et d'assainissement d'Abidjan. Rapport n°5 - PNUD/OMS/République de Côte d'Ivoire, Ministère des Travaux Publics.
- ANONYME, 1972b.- Recherche des points de rejets pour les eaux usées de la ville d'Abidjan. Rapport n°6 - PNUD/OMS/République de Côte d'Ivoire, Ministère des Travaux Publics.
- AUBERT (M.), AUBERT (J.), 1973.- Pollutions marines et aménagement des rivages. Rev. Int. Océan. Méd., suppl., 309 p.
- DAGET (J.), DURAND (J.R.), 1968.- Etude du peuplement de poissons d'un milieu saumâtre poïkilohalin: la baie de Cocody en Côte d'Ivoire. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol., 2 (2): 91-112
- D'ANDONNEAU (Y.), 1973.- Etude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte d'Ivoire. III - Facteurs dynamiques et variations spatio-temporelles. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr., 11 (4): 431-454

- DEBYSER (J.), 1955.- Etude sédimentologique du système lagunaire d'Abidjan (Côte d'Ivoire).
Revue de l'Institut Français du Pétrole, 10 (5): 319-334
- GARCIA (S.), BRIET (R.), 1974.- Rapport d'enquêtes sur l'évolution des rendements de la pêche artisanale dans la région d'Abidjan.
Rapport dactylographié n°62, 6 p., C.R.O., Abidjan
- GREEN (E.J.), CARRITT (D.E.), 1967.- New tables for oxygen saturation of seawater.
J. mar. Res., 25 (2): 140-147
- HALL (F.G.), 1930.- The ability of the common mackerel and certain other marine fishes to remove dissolved oxygen from sea-water.
Am. J. Physiol., 93: 417-421
- HELA (L.), KOROLEFF (F.), 1957.- Hydrographical and chemical data collected in 1955 on board the "Aranda" in the Baltic sea.
Havsforskningsinstitutets Skrift n°177, 36 p.
- JAWED (M.), 1973.- Effects of environmental factors and body size on rates of oxygen consumption in *Archaeomysis grebnitzkii* and *Neomysis awatschensis*.
Mar. Biol., 21: 173-179
- MARSHALL (S.M.), NICHOLLS (A.G.), ORR (A.P.), 1935.- On the biology of Calanus finmarchicus. VI - Oxygen consumption in relation to environmental conditions.
J. mar. biol. Ass. U.K., 20: 1-28
- MORLIERE (A.), 1970.- Les saisons marines devant Abidjan.
Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, I (2): 1-15
- NOVO (B.), 1974.- La pollution des eaux par l'industrie à Abidjan.
Rapport dactylographié, 15 p., Secrétariat d'Etat chargé des Mines, Abidjan.
- RAHM (U.), 1964.- Zur Oekologie des Zooplanktons der Lagune Ebrié.
Acta Tropica, 21 (1): 1-47
- RICHARDS (F.A.), 1965.- "Anoxic basins and Fjords" in J.P. Riley and G. Skirrow, eds., Chemical Oceanography, Academic Press, London, 1: 611-645
- REISH (D.J.), BARNARD (J.L.), 1960.- Field toxicity tests in marine waters utilizing the polychaetous annelid Capitella capitata (Fabricius).
Pacif. Nat., 1: 1-18
- STIRN (J.), 1965.- Marine pollution in the Gulf of Triest.
Varstvo narave, 3: 157-184

- STIRN (J.), 1971.- Ecological consequences of marine pollution.
Rev. Intern. Oceanogr. Med., 24 (1): 13-46
- STRICKLAND (J.D.H.), PARSONS (T.R.), 1968.- A practical handbook of sea water analysis.
Fish. Res. Board Canada Bull. 167, 311 p.
- STROM (K.M.), 1939.- Land looked waters and deposit of black muds. In: Recent marine sediments. A symposium: 356-372
American Ass. Petrol. Geologists Publ., Tulsa, Oklahoma
- SVERDRUP (H.V.), JOHNSON (M.W.), FLEMING (R.H.), 1942.- The oceans.
Prentice Hall, Inc. N.J., 1087 p.
- TASTET (J.P.), 1971.- Le contexte géologique du site d'Abidjan.
Ann. Univ. Abidjan, sér. G., 3: 225-246
- TASTET (J.P.), 1974.- Environnement physique du système lagune Ebrié.
Série doc. depart. sciences de la terre, 11, Université d'Abidjan, 28 p., 58 fig., 4 cartes h.t.
- VERNBERG (F.J.), 1972.- Dissolved gases - animals - in Marine Ecology,
O. KINNE ed. - Wiley Interscience, 1 (3): 1491-1526
- VERSTRAETE (J.-M.), 1970.- L'oxygène au large de Grand Bassam.
Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, 1 (3): 19-35

*

* *